



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO
DEL POZO CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD
GUATEMALA**

Melany Andrea Oyarzabal Díaz
Asesorada por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO DEL POZO
CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MELANY ANDREA OYARZABAL DÍAZ
ASESORADA POR EL ING. JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de Leon Rodriguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

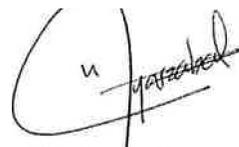
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortíz
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortíz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO DEL POZO CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha noviembre de 2016.



Melany Andre Oyarzabal Díaz

Guatemala. 17 de septiembre de 2018

Ingeniero
Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

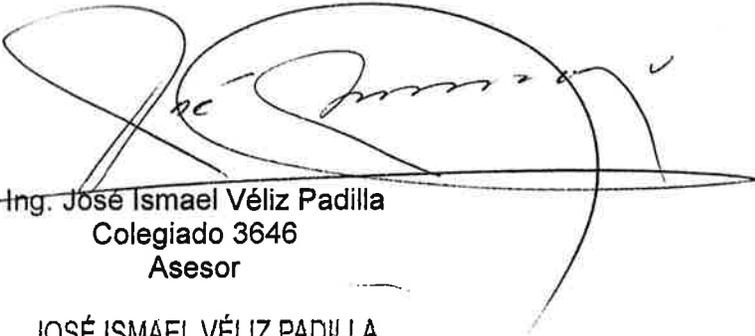
Señor director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la revisión del trabajo de graduación de la estudiante **Melany Andrea Oyarzabal Díaz** con No. de carné 200914916 trabajo que lleva el título **"MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO DEL POZO CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD GUATEMALA"**.

Después de haber realizado todas las correcciones necesarias le informo que el trabajo cumple con los requisitos exigidos por la facultad de Ingeniería, por lo que lo someto a su consideración a efecto de continuar con el trámite respectivo para su aprobación.

Agradeciendo su atención me suscribo a usted,

Atentamente,



Ing. José Ismael Véliz Padilla
Colegiado 3646
Asesor

JOSÉ ISMAEL VÉLIZ PADILLA
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO 3646

Ref.E.I.M.262.2018

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO DEL POZO CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD GUATEMALA** desarrollado por la estudiante **Melany Andrea Oyarzabal Díaz**, CUI 1720748000101, Registro Académico 200914916 recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, septiembre 2018



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.025.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO DEL POZO CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD GUATEMALA** desarrollado por la estudiante **Melany Andrea Oyarzabal Díaz, CUI 1720748000101**, Registro Académico **200914916** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2019

/aej



DTG. 064 .2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **MONTAJE DE EQUIPO DE BOMBEO SUMERGIBLE Y AFORO DEL POZO CORPORACIÓN SOL EST ZONA 5, CIUDAD GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Melany Andrea Oyarzabal Díaz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, febrero de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Mi padre celestial, luz divina y guía de mis pasos en cada una de las etapas de mi vida.
- Mis padres** Mirna Díaz de Oyarzabal y Edgar Alfonso Oyarzabal Morales. Este logro es gracias a su incansable lucha, su apoyo incondicional y su infinito amor.
- Mi esposo** Christian Alexander Urías Quiroa quien es también mi mejor amigo y me ha brindado su apoyo y amor incondicional en todo el proceso que me ha traído hasta este día.
- Mi hija** Grettel Abril Urías Oyarzabal, alegría de mi vida, que todos los días me llena de valor y fuerzas para alcanzar todas mis metas.
- Mi hermano** Kevin Alejandro Oyarzabal Díaz, por su apoyo y cariño incondicional y como muestra de que lo que nos proponemos lo podemos lograr.
- Mis abuelitos** Soledad de la Luz Díaz y Francisco Javier Díaz Calderón (QEPD) por su cariño sincero y por apoyarme en cada decisión a lo largo de mi vida.

Mis tías

Sara Díaz, Siomara de Rojas, Beily de Gálvez, Elvia Díaz, Vilma Díaz y a mi tío Rigoberto Burgos (QEPD), por ser guías en mi camino y por estar siempre pendientes de mí.

Mis primos

Danny, Mishel, Diana y Karina Anzoategui; Jains Farelo, Diego Alarcón, Junior y Dylan Gálvez y Sophia Rojas, porque he crecido al lado de todos ustedes y he tenido su apoyo y cariño en los momentos más difíciles.

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Gloriosa Alma Máter que me abrió sus puertas; y porque en ella encontré grandes personas y los conocimientos que pondré a servicio de Dios, la sociedad y mis prójimos.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Ismael Véliz

Por su acertada asesoría, esmero y paciencia en la revisión de este trabajo de graduación.

Ing. Anibal Chicojay

Por su apoyo y paciencia en todo momento desde que inicie el área profesional, gracias por su atención y confianza a mi persona. Es usted un catedrático ejemplar.

Ing. Roberto Guzmán

Por su paciencia y todo el conocimiento que comparte con sus estudiantes. Gracias a usted aprendí mucho en mi paso por esta hermosa escuela de ingeniería mecánica.

Ing. Hugo Ramírez

Por sus enseñanzas y su constante ayuda y asesoramiento a sus estudiantes. Le agradezco infinitamente su apoyo.

Ing. Carlos Pérez

Por ser un ejemplo de constancia y disciplina, por sus consejos, los cuales me ayudaron paso a paso a llegar a este día.

Ing. Fredy Monroy

Por su ayuda y palabras de ánimo en cada dificultad de mi carrera, por sus enseñanzas

y los recuerdos de cada una de sus materias.

**Escuela de
Ingeniería
Mecánica**

Por ser una escuela unida y brindarme el conocimiento y cariño de todo el personal, los llevo en mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	VI
RESUMEN.....	VIII
OBJETIVOS.....	X
INTRODUCCIÓN	XII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Mantos acuíferos y búsqueda de su explotación	3
1.1.1. Estructura de un acuífero	3
1.1.1.1. Zona de saturación.....	4
1.1.1.2. Zona de aireación o vadosa	4
1.1.2. Tipos de acuíferos.....	4
1.1.2.1. Acuífero cautivo o confinado	4
1.1.2.2. Acuífero libre	5
1.1.3. Recarga de acuíferos.....	6
1.2. Perforación del pozo Corporación Sol Est.	7
1.2.1. Perforación.....	8
1.2.1.1. Factores mecánicos de la perforación.....	8
1.2.1.2. Factores geológicos	8
1.2.2. Perforación vertical.....	9
1.3. Aforo del pozo.....	10
2. PERFORACIÓN DE POZOS.....	13
2.1. Conceptos básicos.....	13
2.1.1. Nivel estático del agua	13

2.1.2.	Nivel dinámico o de bombeo.....	13
2.1.3.	Abatimiento.....	13
2.1.4.	Aforo.....	14
2.1.5.	Abatimiento residual.....	14
2.1.6.	Calidad del agua.....	14
2.1.7.	Acidez.....	15
2.1.8.	Temperatura.....	16
2.1.9.	Sólidos en suspensión.....	16
2.1.10.	Sales.....	16
2.2.	Estudio hidrogeológico antes de la perforación.....	16
2.3.	Tipos de perforación.....	17
2.3.1.	Método por percusión.....	17
2.3.2.	Método rotativo.....	18
2.3.3.	Perforación rotativa con aire comprimido.....	19
2.3.4.	Perforación por percusión hidráulica.....	19
2.3.5.	Perforación a chorro.....	21
3.	EQUIPO MECÁNICO E HIDRÁULICO.....	23
3.1.	Transporte, carga y descarga de equipo.....	23
3.2.	Perforación del pozo Corporación Sol Est.....	23
3.2.1.	Requisitos para la perforación.....	24
3.2.1.1.	Rendimiento del pozo.....	24
3.2.1.2.	Profundidad del pozo.....	25
3.2.1.3.	Diámetro de la perforación.....	25
3.2.2.	Equipo utilizado.....	26
3.3.	Montaje de equipo hidráulico y mecánico.....	28
3.4.	Desarrollo y limpieza del pozo.....	29

4.	AFORO DEL POZO.....	31
4.1.	Montaje del equipo de bombeo sumergible	31
4.2.	Aforo del pozo Corporación Sol Est.....	32
4.3.	Resultados.....	33
4.4.	Selección de equipo permanente de producción	36
4.4.1.	Pasos para la elección de una bomba	36
4.4.2.	Selección del equipo sumergible.....	37
4.4.2.1.	Selección de la bomba sumergible.....	37
4.4.2.1.1.	Cálculo de la eficiencia de la bomba.....	39
4.4.2.2.	Elección del motor sumergible	41
4.4.2.3.	Selección del cable sumergible	42
4.4.2.4.	Selección de la tubería	43
4.5.	Calidad del agua	46
4.5.1.	Examen bacteriológico	46
4.5.2.	Examen fisicoquímico	47
4.5.3.	Desinfección del pozo	47
5.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	49
5.1.	Plan de mantenimiento para el equipo de bombeo sumergible	49
5.1.1.	Instrucciones para mantenimiento.....	50
5.1.1.1.	Inspección	50
5.1.1.2.	Revisión general.....	51
5.2.	Prevención de fallos.....	52
5.2.1.	Prevención de fallos comunes.....	55
5.3.	Vida útil del equipo.....	57
5.4.	Mantenimiento correctivo	57
5.4.1.	Fichas de control de equipo	58
5.4.2.	Corrección de fallos más comunes	60

CONCLUSIONES..... 63
RECOMENDACIONES..... 65
BIBLIOGRAFÍA..... 67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Cobertura de agua potable en la ciudad de Guatemala	2
2. Tipos de acuíferos	5
3. Estructura de pozos verticales.....	11
4. Máquina perforadora por percusión.....	20
5. Producción del pozo en GPM	35
6. Recuperación del pozo	36
7. Cálculo del nivel dinámico del pozo.....	38
8. Curva de rendimiento	41
9. Diagrama modelo de sistema de abastecimiento de agua	53
10. Ejemplo de ficha de control de equipo.....	59

TABLAS

I. Especificaciones de la tubería	28
II. Resultados de la prueba de bombeo	33
III. Recuperación del pozo	35
IV. Perdidas por fricción	40
V. Selección de cable sumergible para bombas	43
VI. Cálculo de corriente y potencia.....	45
VII. Ejemplo de ficha de control de equipo	59
VIII. Averías comunes y su eliminación.....	60

GLOSARIO

Álabe	Forma parte del rodete, desvía el flujo de corriente y transforma energía cinética y energía de presión o bien intercambia cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje.
Cabrestante	Torno de eje vertical para mover y arrastrar grandes pesos.
Encamisar	Poner tubos de acero en una perforación para realizar pruebas.
Hidrogeología	Estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima.
Rodete	Es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido.
Sarta de perforación	Tuberías de acero que se unen para formar un tubo desde el barreno de perforación hasta la plataforma de perforación.
Trépano	Se coloca en el final de una sarta de perforación para que rompa, corte y muele las formaciones rocosas mientras se perfora un pozo.

RESUMEN

En la actualidad, las personas son conscientes, conocen o han escuchado sobre la problemática de la escasez de agua generada por el aumento continuo de la demanda de este líquido. Es importante tomar en cuenta que el 80 % del agua potable en la ciudad de Guatemala es subterránea y la mejor forma de aprovecharla es mediante la perforación de pozos.

Por tal razón surge esta investigación aborda el tema Montaje de equipo de *bombeo sumergible y aforo del pozo Corporación Sol Est zona 5, ciudad Guatemala*. Como respuesta a la contaminación y escasez de agua, las perforaciones de pozos ha contribuido a resolver la problemática y con este tipo de estudios se pueden determinar los niveles acuíferos y el caudal de producción de un pozo. Además, se aplican a la elección correcta del equipo y para maximizar la utilidad de la producción de agua. Los pozos pueden ser excavados también únicamente con el objetivo de monitorear la calidad del agua, para calentar o enfriar la misma.

OBJETIVOS

General

Describir el proceso para el montaje de un equipo de bombeo sumergible y aforo del pozo Corporación Sol Est.

Específicos

1. Describir las razones de la perforación del pozo Corporación Sol Est.
2. Recolectar información necesaria sobre el equipo a utilizar en la perforación y aforo del pozo.
3. Describir el procedimiento a seguir en el montaje del equipo de bombeo sumergible a utilizarse en el aforo del pozo Corporación Sol Est.
4. Determinar por medio de equipo de bombeo sumergible el caudal producido por el pozo Corporación Sol Est.
5. Establecer una propuesta de mantenimiento para el equipo permanente de bombeo a utilizarse en la extracción de agua del pozo.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el agua subterránea es un recurso valioso, los pozos proporcionan un sistema confiable de agua subterránea. No muchos pozos de agua se abaten; sin embargo, algunos tienen tasas inconsistentes de recarga. Por lo tanto, es importante estudiar la zona en donde desea perforar un pozo profundo de agua. La perforación es la forma más eficaz de construir un pozo profundo de agua. La única manera de saber si el pozo será capaz de cumplir cierta demanda de agua y de recarga es llevando a cabo un aforo y un estudio de los resultados enfocado hacia el uso que se le desea dar al pozo.

Para este estudio se utiliza un equipo hidráulico de bombeo sumergible, asignado según la profundidad del pozo. Mediante el montaje de este equipo se mide el volumen de agua brindará el pozo en un tiempo determinado. Además, con base en las mediciones se determina el equipo para la extracción o bombeo. El equipo adecuado garantiza el menor costo en maquinaria, a corto plazo y en consumo de energía, a largo plazo. También garantiza que el equipo prolongará su vida porque no se sobrecargará de energía ni se someterá a un ritmo de trabajo perjudicial.

1. ANTECEDENTES

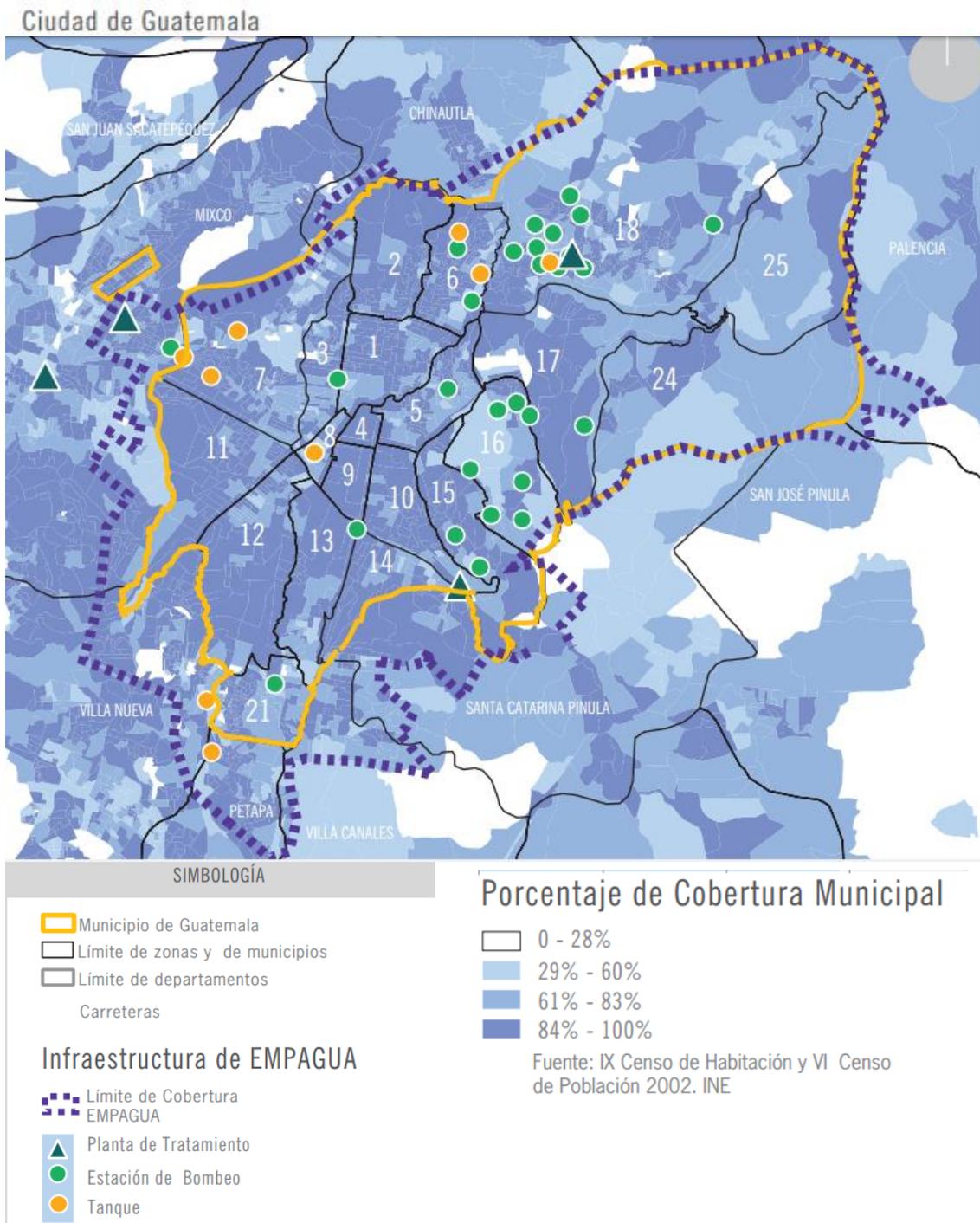
En la ciudad de Guatemala y áreas aledañas, EMPAGUA es la empresa municipal que provee los servicios de agua potable y alcantarillado. Esta institución planifica, diseña, ejecuta y supervisa las obras de construcción, mejoramiento, ampliación, reconstrucción y mantenimiento del servicio de agua potable y saneamiento para suplir la demanda de agua. Mensualmente se producen alrededor de diez mil millones de litros de agua potable aptos para el consumo humano.

El funcionamiento adecuado de los sistemas de producción que se operan en la capital propician el suministro de agua potable durante el curso del año. Se suministra agua superficial y subterránea. Para utilizar el agua de superficie, se disponen de las plantas Lo de Coy, Santa Luisa, El Cambray y Las Ilusiones. El agua subterránea se obtiene de campos de extracción y bombeo como ojos de agua, y los pozos que han sido perforados en diferentes zonas de la ciudad.

El agua potable proviene de 5 plantas de tratamiento para fuentes superficiales, 80 pozos mecánicos para agua subterránea, 3 estaciones de bombeo y 1 800 Km de tubería de grandes diámetros, adicional a la red de distribución, que consiste en tuberías de menores diámetros.

El volumen producido por EMPAGUA es el 85 % del total de la cobertura que presta a este municipio. El resto es producido por agua Mariscal y otros proveedores privados.

Figura 1. Cobertura de agua potable en la ciudad de Guatemala



Fuente: Plan Marco de agua potable 2003-2020, EMPAGUA, Consultora CASAM.

En el mapa anterior se muestra la cantidad de pozos que se encuentran activos, aunque no todos funcionan al 100 % de su capacidad y otros cuantos funcionan de forma alterna, de esta manera, si algún pozo baja el volumen o se seca otro pozo cubre la producción del sector; aunque como parte de la infraestructura un pozo usualmente se coloca un tanque de almacenamiento.

1.1 Mantos acuíferos y la búsqueda de su explotación

Se le llama manto acuífero al agua subterránea. Los mantos acuíferos se forman cuando el agua de la superficie se almacena luego de filtrarse en la tierra, por ejemplo, después de la lluvia, estas acumulaciones de agua, a veces, se mueven lentamente al océano por flujos subterráneos y, otras veces, se estancan y forman masas de agua subterránea.

Estas masas de agua pueden ser explotadas mediante la excavación y perforación de la tierra para consumo humano en actividades agrícolas o industriales. La excavación expone la capa freática, es decir el acuífero subterráneo que se encuentra a poca profundidad y que tradicionalmente abastece los pozos de agua potable, aunque es la más expuesta a la contaminación de la superficie.

1.1.1 Estructura de un acuífero

El acuífero está formado por un terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie donde se acumula y circula el agua subterránea. En un acuífero se distinguen las siguientes partes.

1.1.1.1. Zona de saturación

Esta zona se sitúa sobre la capa impermeable, donde el agua satura los poros de las rocas. El límite superior de esta zona es el nivel freático que asciende en época de lluvia al recibir gran cantidad de agua de recarga y desciende en épocas secas.

1.1.1.2. Zona de aireación o vadosa

Es el espacio entre el nivel freático y la superficie. En esta zona no todos los poros de las rocas están llenos de agua. Cuando la roca permeable se encuentra entre dos capas impermeables, el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica, y si dicha roca perfora la capa superior, el agua fluye por esta como si fuera un pozo artesanal.

1.1.2. Tipos de acuíferos

Según la formación de los acuíferos se distinguen dos tipos de acuíferos: Los acuíferos confinados y los acuíferos libres

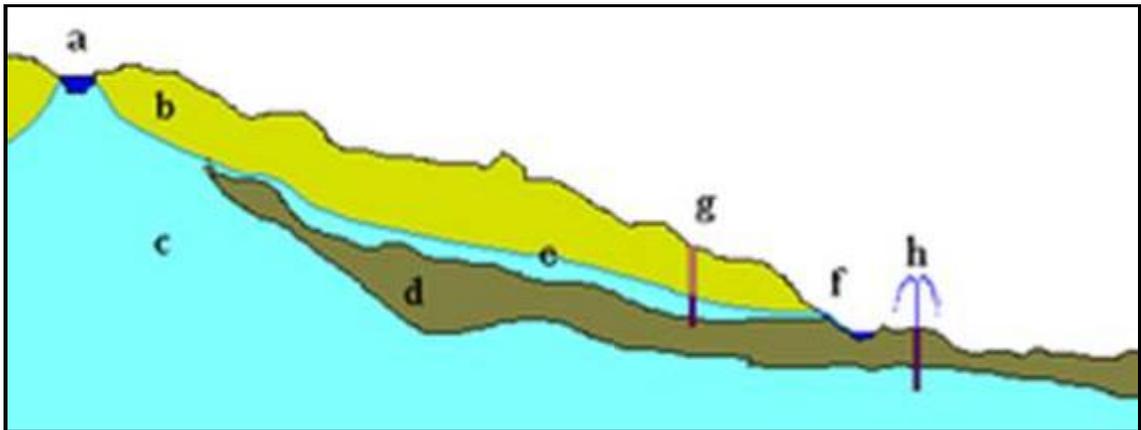
1.1.2.1 Acuífero cautivo o confinado

En estos tipos de acuífero, el agua está encerrada entre dos capas impermeables y a una presión superior a la presión atmosférica. El manto se abastece de ciertas zonas compuestas por algunos materiales permeables. El área de recarga puede ser directa si la lluvia la abastece y entra en contacto directo con un afloramiento del agua subterránea o indirecta si las precipitaciones deben atravesar las capas de suelo antes de integrarse al agua subterránea. A estas zonas de recarga se les llama también de alimentación.

1.1.2.2 Acuífero libre

Cuando el nivel freático se encuentra a presión atmosférica, se dice que el acuífero es libre. Regularmente, en zonas alejadas de ríos, lagos o mares, los acuíferos son la única fuente de abastecimiento de agua. En los acuíferos libres, el agua sale a la superficie por sí sola a través de encharcamientos, manantiales, oasis, aguas termales, etc.

Figura 2. Tipos de acuíferos



Fuente: Mantos Acuíferos, blog: mantosacuiferos.blogspot.com.

En la figura anterior se observan los dos tipos de acuíferos y las partes que los conforman:

- a) Río o lago, representa la fuente de recarga de ambos acuíferos.
- b) Suelo poroso no saturado.
- c) Suelo poroso saturado, existe parte de terreno impermeable, formado, por ejemplo, por arcilla, este estrato impermeable confina el acuífero a cotas inferiores.

- d) Suelo impermeable.21
- e) Acuífero no confinado.
- f) Manantial.
- g) Pozo que capta agua del acuífero no confinado.
- h) Pozo que alcanza el acuífero confinado, frecuentemente el agua brota como en un surtidor o fuente, llamado pozo artesanal.

1.1.2. Recarga de acuíferos

El proceso de renovación de los mantos acuíferos se llevan a cabo por la recarga de agua que ingresa de la superficie. Es un proceso lento, si es comparada con el tipo de renovación que sufren los depósitos de agua superficiales, como lagos y otros cursos de agua.

El proceso de renovación de un manto acuífero puede interrumpirse por algunas formaciones geológicas impermeables. La proporción de agua que se infiltra depende de varios factores:

- Litología: se refiere al material geológico en la superficie
- Pendientes: una pendiente marcada no favorece la infiltración del agua.
- Vegetación: cuando existe vegetación abundante esta contribuye no solo deteniendo el flujo de agua en las lluvias sino también con las gotas que quedan en su follaje y sus raíces.

Eventualmente, los acuíferos se recargan artificialmente, pero no es un procedimiento generalizado y no siempre es posible. Para plantear la recarga artificial de un acuífero se debe conocer profunda y detalladamente la

hidrogeología de la región donde este se encuentra y disponer del volumen de agua para tal operación.

1.2. Perforación de pozo Corporación Sol Est

Las aguas subterráneas constituyen una de las fuentes más grandes e importantes de agua dulce. Actualmente, EMPAGUA se vale de fuentes naturales y pozos para abastecer de agua a la ciudad de Guatemala. También hay pozos privados que le venden agua a dicha empresa.

En la zona 5 de la ciudad de Guatemala un propietario descubrió una corriente de agua en su propiedad y la empresa Dahopozos de Guatemala perforó el pozo denominado *Pozo Corporación Sol Est.* para acceder al agua dulce bajo la superficie. Dicho pozo podrá servir como abastecedor de agua del sector en el futuro.

1.2.1. Perforación

El pozo Corporación Sol Est. se perforó de forma recta y vertical. Por ello, los costos en tubería, revestimiento, maquinaria se redujeron y, además, se minimizó el tamaño del pozo.

La forma de perforar pozos depende de factores, como la profundidad del manto acuífero, el material geológico de las capas del subsuelo, el tipo de máquinas con la que se perforará y el tipo de pozo.

Consiste en proponerse objetivos y realizar acciones para llevarlos a cabo (Autor-Informe, Año), así mismo se deben tomar las decisiones apropiadas.

1.2.1.1. Factores mecánicos de la perforación

Se refieren a las características, diámetros y pesos de la maquinaria de perforación que se utilizó, el tipo de mecha, velocidad de rotación, peso sobre la mecha, tipo y propiedades del fluido de perforación y la hidráulica para garantizar la limpieza del fondo del pozo y el transporte del ripio hasta la superficie.

1.2.1.2. Factores geológicos

Para perforar el pozo Corporación Sol Est. se tomaron factores geológicos, como la clase y constitución del material de las rocas, grado de dureza y el buzamiento o inclinación, aunque, en este caso, no hubo inclinación considerable.

En una perforación es necesario verificar cada cierto tiempo y en intervalos la verticalidad del pozo, mediante registros y análisis de los factores mencionados. Al finalizar el análisis se acepta cierta desviación del pozo ya que desde los comienzos de la utilización de la perforación rotatoria se ha concluido que un pozo es razonable y convencionalmente vertical cuando el largo de su perforación no sobrepase el perímetro de un cilindro que se extiende desde la superficie, hasta su zona más profunda.

1.2.2. Perforación vertical

En la perforación de este pozo se controló intencionalmente el grado de inclinación, el rumbo y el desplazamiento para llegar al manto de agua.

Durante el proceso se llevó a cabo la verificación y el control de la trayectoria mediante la utilización de instrumentos y registros electrónicos que

al instante relacionaron el comportamiento de cada uno de los factores que influyen y permiten la desviación del pozo. Los pozos verticales son considerados los sistemas de captación de agua subterránea de mayor extensión.

Los pozos regularmente se diseñan para aprovechar su caudal y para que produzca al máximo. Una vez perforado, durante el desarrollo del pozo se tienen dos objetivos principales:

- La reparación del daño que se provoca durante la perforación de este y así las propiedades hidráulicas del pozo no se vean afectadas.
- Alteración de las características físicas principales del acuífero cerca de la perforación de este modo el agua puede fluir libremente y ser extraída fácilmente.

1.3. Aforo del pozo

El aforo es la última fase en la perforación de un pozo. Sirve para determinar la calidad del pozo. De esta forma se diseña adecuadamente para iniciar la extracción, venta y distribución del caudal de agua.

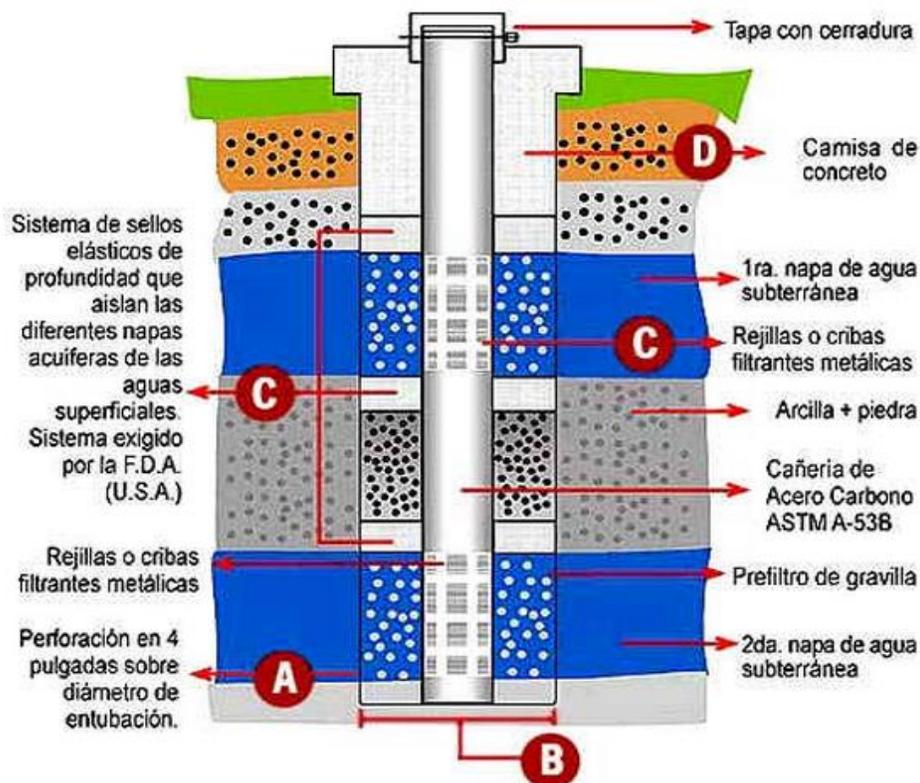
Para aforar el pozo se utiliza tubería de expulsión, una bomba sumergible que cuenta con tablero de control de nivel, válvulas que evitan el retorno en las tuberías de expulsión, una llave de paso, y en la salida algún aparato o medio para medir el caudal y de esta forma aforar el pozo.

En la prueba de aforo se determinan algunas características hidráulicas del pozo, entre ellas:

- NE: Nivel Estático
- ND: Nivel Dinámico
- Q: Caudal de producción
- T: Tiempo de recuperación

A continuación, en la Figura 3 se muestra la estructura de un pozo vertical, a manera de referencia. El pozo Corporación Sol Est. fue perforado de forma vertical y cuenta con una estructura muy similar a la que presentan los otros pozos verticales.

Figura 3. Estructura de Pozos Verticales



Fuente: Miliarium. Ingeniería Civil y Medio Ambiente. Disponible en:

<http://www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Memoria/Captaciones/PozosVerticales.asp> consulta 01 de mayo 2015.

2. PERFORACIÓN DE POZOS

2.1 Conceptos básicos

Para perforar pozos se toman en cuenta las características de los acuíferos relacionadas con la capacidad de producción de un pozo y la calidad de agua para el consumo humano.

2.1.1. Nivel estático del agua

Es el nivel en el que se encuentra la superficie del agua, cuando aún no se ha extraído agua de este. El nivel estático también se utiliza para referirse a una distancia desde la superficie de la tierra o de algún punto establecido como referencia hasta el nivel del espejo del agua.

2.1.2. Nivel dinámico o de bombeo

Es el nivel en el que se encuentra la superficie del agua de un pozo cuando se inicia el bombeo. El espejo del agua empieza a descender, según la rapidez de bombeo, hasta que, después de un tiempo, el nivel se detiene, la rapidez de llenado del pozo se equilibra con la del bombeo y esta nueva profundidad o punto es el nivel dinámico.

2.1.3. Abatimiento

Es la distancia que desciende el nivel de la superficie del agua subterránea al haber iniciado la extracción o bombeo; puede decirse también que es la diferencia entre el nivel estático y dinámico.

El abatimiento es de gran importancia para el diseño de pozos, además la eficiencia de un pozo se calcula por medio de los índices de abatimiento.

2.1.4. Aforo

Es la medición del gasto de producción de un pozo, también se conoce como prueba de bombeo. Se realiza para obtener información del comportamiento del pozo o para calcular su eficiencia y el comportamiento en general que puede presentar. Todas estas características son útiles para seleccionar el equipo de bombeo apropiado para la extracción continua.

2.1.5. Abatimiento residual

El abatimiento residual es la distancia que se mide desde el nivel inicial de la superficie del agua, nivel estático, y el nivel al que llega el agua cuando se deja de bombear y empieza a llenar para alcanzar el nivel estático.

2.1.6. Calidad del agua

Existen estándares que definen si el agua que se extrae de un acuífero es potable o tiene propiedades adecuadas para el uso en las diferentes actividades del ser humano.

Los estándares de sanidad mencionados en Guatemala, los rige la norma COGUANOR 29001 cuyo objetivo es fijar valores de las características que definen la calidad del agua potable. Esta norma se aplica al agua proveniente de fuentes, como pozos, nacimientos y ríos, y que puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos, utilizada para consumo humano, como preparación de alimentos y uso doméstico, entre otras.

Se excluye el agua purificada envasada y el agua carbonatada, las cuales son cubiertas por normas específicas y otros que mantienen un real interés en el abastecimiento del agua y la salud pública.

2.1.7. Acidez

La acidez del agua es la capacidad cuantitativa que tiene para reaccionar con una base fuerte hasta un pH designado. Su valor puede variar significativamente por la presencia de dióxido de carbono, de ácidos minerales o de sales, ácidos fuertes y bases débiles.

En muchas aguas naturales que se usan para propósitos potables, existe un equilibrio entre carbonato, bicarbonato y dióxido de carbono. Los contaminantes ácidos que entran a los acuíferos en cantidad suficiente pueden alterar dicho equilibrio.

El agua con alto pH tiene un tacto resbaladizo, sabe un poco como el bicarbonato de sodio, y puede dejar depósitos en los accesorios. El agua de bajo pH puede tener un sabor amargo o metálico, y puede contribuir a la corrosión habitual. Consumir agua excesivamente ácida o alcalina es perjudicial, el agua potable debe tener un valor de pH de 6.5 a 8.5 para estar dentro de los valores adecuados.

2.1.8. Temperatura

Es un factor importante en la perforación de pozos, pues muchas de sus propiedades y características se pueden ver alteradas cuando existen altas temperaturas y tomando en cuenta que según estudios por cada 100 pies de

profundidad la temperatura aumenta 1°C, se deben tener consideraciones especiales en la perforación de pozos profundos.

2.1.9. Sólidos en suspensión

En el agua se encuentran minerales disueltos que sirven para, por medio de estudios, definir la aceptación y el uso de esa agua para algunos propósitos. El agua que consume el humano debe tener un rango de sólidos de 500 partes por millón, si el contenido de minerales fuera mayor, el agua no sirve para el consumo humano, pues es de gusto desagradable, además se vuelve altamente corrosiva, aunque puede ser utilizada para propósitos industriales.

2.1.10. Sales

Los acuíferos pueden ser de bajo contenido en minerales, pero muchos de estos por su profundidad y extensión son salobres y para su utilización debe pasar por un proceso de desmineralización para que su contenido de sales quede dentro del rango aceptable para el consumo.

2.2. Estudio hidrogeológico antes de la perforación

Este estudio consiste en preparar un mapa geológico y unas secciones transversales, que muestren los sitios de afloramiento de las rocas, con esto se observa cómo han sido afectadas por presiones terrestres, en el pasado. Este estudio mostrará qué rocas son susceptibles de contener agua y donde se hallan por debajo del terreno.

También se debe contar con la información sobre pozos existentes, su localización profundidad, nivel estático, nivel dinámico, cantidad de agua que se extrae por bombeo y que clase de rocas fueron penetradas por estos pozos.

Representa un registro útil del pozo que deberá incluir lo siguiente: muestras de roca; información relacionada con el estrato al cual rinde agua y cuán libremente lo hace; nivel estático del agua en cada estrato y los datos de cualquier prueba de bombeo, mostrando cuánta agua se obtuvo y cuanto descendió el nivel para una razón dada de bombeo.

2.3. Tipos de perforación

Existen muchas formas para llevar a cabo la perforación de un pozo, cada una de estas técnicas cuenta con su propia línea de procedimiento, sus ventajas, desventajas y utilidades. A continuación, se mencionan algunos de los tipos más conocidos de perforación.

2.3.1. Método por percusión

Este método se lleva a cabo dejando caer con regularidad un pesado grupo de herramientas dentro del agujero durante la perforación. Cuando se está perforando materiales duros estas herramientas (barrenos) fractura la roca y la convierte en fragmentos más pequeños, cuando se está perforando en materiales suaves, la acción de vaivén de las herramientas entremezclada con el agua y las partículas del suelo forman un lodo.

Si no hay agua en el terreno, se agrega al agujero mientras se está penetrando. El lodo se retira con una bomba de arena, conforme se acumula mediante ya que puede retardar la velocidad de penetración.

Las herramientas utilizadas para este tipo de perforación se componen de cuatro elementos: el barreno, la barra de pesos, las tijeras de perforar y la portacable giratorio. El cable que sostiene las herramientas de perforación se le llama línea de perforar. Por lo general el diámetro varía entre 5/8" y 1" y su enrollado es en sentido izquierdo.

2.3.2. Método rotativo

Este método consiste en hacer un agujero mediante la acción rotatoria de un trépano colocado al final de una sarta de perforación, esta herramienta rompe, corta y muele las formaciones rocosas, luego los fragmentos son extraídos mediante un fluido que circula constantemente, mientras la herramienta penetra los materiales de la formación. El trépano se coloca en la punta de un grupo tubos para que el lodo de la perforación pueda ser bombeado a través de la tubería y expulsado por las boquillas de esta.

Para este tipo de perforación, se utilizan dos tipos de trépanos: el de rodetes dentados, utilizado para rocas, y el de arrastre que comprende el tipo de cola de pescado o el de tres aletas. En terrenos rocosos, es necesario instalar la barra de peso, ya que esta proporciona un mayor empuje al grupo de herramientas y así aumenta la velocidad de perforación en este tipo de terrenos.

2.3.3. Perforación rotativa con aire comprimido

Este método de perforación utiliza aire comprimido como fluido de perforar en lugar de lodo, es un gran avance en la industria de la perforación de pozos. En este sistema se utiliza aire a presión que circula por la tubería de

perforación. El aire escapa por las aberturas de la broca subiendo luego por el espacio anular que rodea a la tubería, desplazándose a gran velocidad dentro del anillo y arrastrando así los fragmentos hasta la superficie.

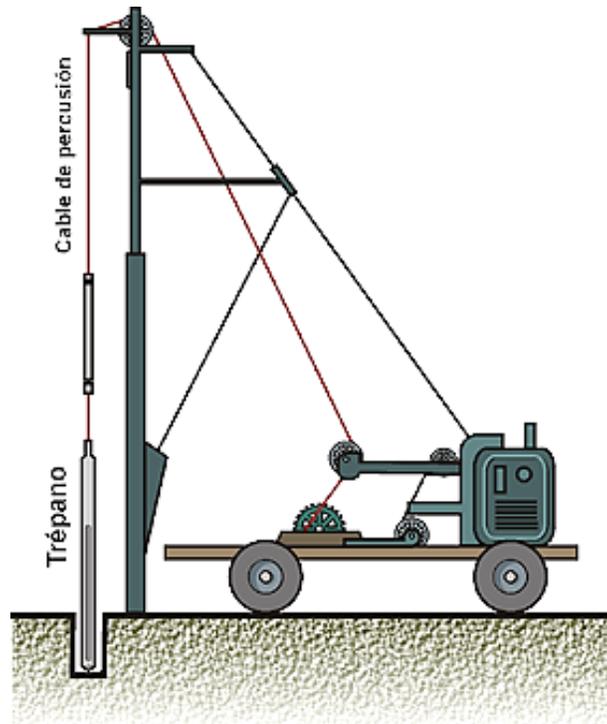
Este procedimiento solo se puede aplicar a formaciones consolidadas pues las máquinas rotatorias que se diseñan para este tipo de trabajo están equipadas con una bomba convencional de lodo además de un compresor de aire de gran capacidad. Las brocas para roca, del tipo de rodetes, similares a los que se diseñan para la perforación basado en lodo, también se pueden utilizar cuando se perfora con aire.

2.3.4. Perforación por percusión hidráulica

También se le llama método de la barra hueca y usa una barra del mismo grupo que el método de percusión a chorro. El trépano es similar, pero se halla provisto de una válvula de retención, intercalada entre el trépano y el extremo inferior de la tubería de perforación. La perforación se ejecuta levantando y dejando caer conjuntamente las barras y el trépano mediante carreras cortas y súbitas. Ver figura 4.

El agua que contiene en suspensión los fragmentos o cortaduras entra a través de los orificios del trépano. Cuando este es halado, la válvula de retención se cierra y atrapa el fluido contenido en ella. Este movimiento alterno continuo produce la acción de bombeo que eleva el fluido, donde descarga en un tanque de sedimentación, el agua se hace retornar desde el tanque de sedimentación al agujero, completando así el ciclo de circulación del fluido.

Figura 4. Máquina perforadora por percusión



Fuente: Métodos y técnicas de perforación, blog: chapopotli.blogspot.com/

2.3.5. Perforación a chorro

El uso de este método se ha circunscrito a pozos de 7,5 y 10 cm. Hasta profundidades de 60m. Utiliza herramientas, como un trépano de forma de cincel fijada al extremo inferior de una un grupo de tubería, el agua de perforación fluye en forma ascendente por el espacio anular que se encuentra alrededor de la tubería de perforación, así arrastra los fragmentos en suspensión, el agua descarga en la superficie del terreno y de ahí es conducida al foso de sedimentación.

3. EQUIPO MECÁNICO E HIDRÁULICO

3.1. Transporte, carga y descarga del equipo

Los materiales y equipo utilizados en la perforación del pozo Corporación Sol Est. se trasladaron del predio de Daho Pozos de la ciudad capital, al punto de perforación ubicado en zona 5. En el lugar se instaló la maquinaria. Esto se retrasó por irregularidades y estreches en el terreno porque se encuentra en el lote de una casa particular demolida.

Se montó el equipo de perforación, se elevó la torre de la máquina y se niveló por medio de sus patas hidráulicas. Luego, se iniciaría la perforación, con la condición de que la máquina estuviera lo más vertical posible.

Con el equipo en el lugar y con las autorizaciones y supervisiones respectivas se inició el trabajo correspondiente a la perforación.

El equipo para el aforo: motor de combustión, tuberías, panel eléctrico, carrete de alambre, etc., se trasladó en camiones adaptados para el trabajo, luego de que el técnico encargado de la perforación seleccionó el equipo tomando en cuenta los datos iniciales del pozo, obtenidos en la perforación.

3.2. Perforación del pozo Corporación Sol Est.

De acuerdo con el estudio hidrológico, se recomendó perforar un pozo con una profundidad mínima de 1000 pies. El método de perforación que se utilizó fue el método de percusión y el diámetro de perforación de 8¼ pulgadas.

El encamisado con tubería de 6 pulgadas de diámetro interno tipo acero negro norma ASTM A53B de 0.250" de espesor de pared con extremos ajustados para acoplar.

Para depositar el lodo de perforación, se utilizó un contenedor de aproximadamente 4 metros de largo con 2 ½ metros de ancho y 1 ½ metros de alto para contar con una capacidad adecuada.

3.2.1. Requisitos para la perforación

Para perforar el pozo Corporación Sol Est. se previó el suministro de materiales, herramientas, equipo mecánico, abastecimiento y personal competente para su realización satisfactoria, desarrollo y prueba. El equipo de Daho Pozos inició la perforación hasta que contó con el estudio de hidrogeología y la autorización por escrito de un ingeniero supervisor.

3.2.1.1. Rendimiento del pozo

El agua subterránea bombeada se denomina agua de captura y cuanto mayor es la intensidad del bombeo, mayor es la captura. La captura proviene de disminuciones en la descarga natural y aumentos en la recarga.

Actualmente, se ha incorporado el concepto de rendimiento sostenible que se refiere a utilizar solo un porcentaje de la recarga para la explotación. Este porcentaje varía, según la política que se considere, desde 10% para los más conservadores, hasta un 70% de los menos conservadores y el porcentaje de medio que se refiere al 40% considerando los aspectos hidrológicos, ecológicos, socioeconómicos, tecnológicos, culturales, institucionales y legales de su explotación. Se acordó que el pozo Corporación Sol Est. debía tener un

rendimiento mínimo de aproximadamente 30 galones por minuto para explotarlo.

3.2.1.2. Profundidad del pozo

La profundidad a la que se debe perforar un pozo se estima en 1200 pies. Si se perforara el pozo en un acuífero que proporcione caudal suficiente a menos profundidad. El ingeniero supervisor puede aprobar una perforación menos profunda y de esta forma reducir los costos de perforación, materiales y mano de obra, de acuerdo con lo realizado. El pozo Corporación Sol Est. Fue perforado a una profundidad de 1330 pies.

3.2.1.3. Diámetro de la perforación

Debe ser suficiente para llevar a cabo la instalación de un empaque de grava o un estabilizador de la formación, alrededor de la rejilla o coladera del pozo.

El pozo debe ser terminado con tubería de hierro negro, con un diámetro mínimo interior de 8 pulgadas en su totalidad y rejilla del mismo diámetro en su parte final o donde se necesite, de acuerdo con las condiciones mencionadas. En cualquier perforación el diámetro mínimo que se necesita será el diámetro útil requerido para la explotación del pozo.

3.2.2. Equipo utilizado

En la perforación de un pozo se debe prever que el equipo sea capaz de alcanzar la profundidad y diámetro mínimos requeridos. Las personas que realizarán el trabajo seleccionan el sistema de percusión o rotación, según su

criterio. En la perforación de este pozo se utilizaron las siguientes herramientas de perforación.

La máquina perforadora: se utilizó la máquina percusiva. Esta realiza un movimiento alternativo de bajada-subida de una masa pesada que, al caer fractura la roca o suelo y lo convierte en pequeños fragmentos, que después se extraen por medio de una válvula de limpieza. Esta es la forma más utilizada en la perforación de pozos mecánicos pues sirve para cualquier tipo de material, sobre todo rocas consolidadas.

El barreno fractura o desmorona la roca dura. La barra proporciona peso adicional al barreno y gracias a su longitud perfora de forma recta, cuando se perfora en roca dura.

Las tijeras son un par de barras de acero articuladas, que sirven para aflojar las herramientas de perforación en el momento de quedar aprisionadas.

El porta - cable giratorio conecta las herramientas al cable y permite que giren ligeramente respecto al mismo.

Se utilizó cable de alambre de soporte para sostener las herramientas de perforación, su diámetro varía de 5/8 pulgadas a 1 pulgada y su torcido es en sentido izquierdo.

La bomba de arena es una cuchara dotada de un émbolo que, al desplazarse hacia arriba produce un vacío y así abre la válvula y succiona la arena o el lodo que contiene los fragmentos, haciéndolos penetrar al tubo. El fondo de la bomba de arena consiste en una válvula de diseño plano.

El cabrestante se utiliza para arrastrar la tubería mediante una cuerda, mientras que el calibrador de arena sirve para medir la cantidad de arena en el lodo de perforación.

El embudo de Marsh sirve para medir la viscosidad del lodo extraído en la perforación. La balanza determina el peso específico del lodo y el cucharón se utiliza para extraer los fragmentos más grandes de roca que están en el fondo del agujero y que no pueden ser levantados por la bomba, a través de la tubería.

Las tuberías de ademe se emplean para proteger las paredes del pozo contra derrumbes. Deben ser de acero estándar, negro o galvanizado y tener como mínimo las características que determine la norma ASTM 20¹ para diámetro nominal de 8 pulgadas. Se deberá suministrar, transportar e instalar la tubería señalada, de acuerdo con las características de la siguiente tabla.

Tabla I. **Especificaciones de tubería**

DIAMETRO		PESO		ESPESOR DE PAREDES	
Num	Pulg	Kg	Lbs/Pies	mm	Pulg
100	4	14.23	9.5	5.021	0.205
150	6	22.31	15.48	5.56	0.219
200	8	35.95	24	6.71	0.264

Fuente: *Especificaciones técnicas de Ademe*. <http://tuberialaguna.com.mx/wp>.
Consulta: noviembre 2016.

¹La norma ASTM 20 contiene las especificaciones estándar de requisitos generales para placas y recipientes a presión.

Las uniones de dicha tubería pueden ser soldadas eléctricamente, con roscado o acople. La resistencia mecánica en las secciones de unión deberá ser como mínimo igual a cualquier otra sección de la tubería, donde no exista soldadura.

3.3. Montaje de equipo hidráulico y mecánico

Se montó el equipo de perforación, se acopló el barrenado, la barra de peso, las tijeras de perforar y el porta - cable giratorio y se inició la perforación del pozo. Al inicio de la perforación se presentó el terreno duro durante los primeros 75 pies, pero se ablandó al avanzar la perforación,

A los casi 400 pies la formación se encontraba aún bastante dura como al inicio, Por eso, se detuvo y extrajo el equipo para darle mantenimiento. Se revisaron los filos de la broca y los pistones de la bomba de lodos y se engrasaron todas las herramientas, luego se insertó de nuevo el equipo y se continuó con la perforación. Este mantenimiento se repitió cada cierta profundidad hasta llegar a los 1 330 pies, para controlar el estado de las herramientas de perforación

El técnico perforador, de acuerdo con la circulación en la perforación y el caudal durante este proceso, estimó que el pozo podría tener una producción de 100 galones por minuto, aproximadamente. Este dato se debe corroborar durante la prueba de aforo, que consiste en 24 horas de bombeo continuas, luego del desarrollo y limpieza del pozo.

3.4. Desarrollo y limpieza del pozo

Luego de haber sacado todo el lodo del fondo del pozo, quedó un lodo líquido el cual se siguió extrayendo mediante la cubeta que es un tubo de 6 pulgadas de diámetro que tiene en el fondo una válvula de cheque que, al encontrarse sumergida por medio de un cable hasta el fondo del pozo, se llenó de agua con lodo y fue extraída por medio del motor de la máquina hacia al tubo descargador de lodo.

Este ciclo se repitió sucesivamente hasta completar las 60 horas de limpieza, se dice que el pozo queda totalmente limpio cuando el agua que extrae la cubeta es clara, exenta de lodos o materiales en suspensión.

El técnico encargado midió el nivel estático del pozo, la profundidad y el nivel del agua en extracción continua. Con estos datos se calcula el equipo de bombeo para hacer la prueba de bombeo (aforo).

4. AFORO DEL POZO

Se le llama aforo de un pozo o prueba de bombeo a la medida de rendimiento de este, en otras palabras, determinar su caudal correspondiente a un abatimiento máximo recomendable del nivel freático.

La prueba de bombeo, se realiza después de que el pozo ha sido completamente terminado y desarrollado y que tanto su profundidad como el nivel estático del agua hayan sido medidos con exactitud, además se debe tomar en cuenta que el equipo de bombeo deberá tener una capacidad de 50% mayor que el caudal de explotación que haya proyectado el técnico supervisor al construir sobre un sistema de ejes cartesianos, la gráfica correspondiente con el objeto de determinar las características hidráulicas del pozo y las relaciones gasto- abatimiento o productividad específica del pozo.

4.1. Montaje del equipo de bombeo sumergible

Con los datos obtenidos en el pozo corporación Sol Est. se seleccionó el equipo de bombeo conformado por un motor de 60 HP, una bomba sumergible de 6 etapas y 40 HP, un generador de 460 voltios trifásico, un panel de multi-velocidades o variador, tubería de 5 pulgadas, cable 4/3 que significa cable calibre 4 de tres líneas., línea de aire ¼ pulgada y accesorios. Este equipo se trasladó al lugar y se instaló.

Después de haber instalado el equipo de aforo y colocar la descarga de bombeo que es un tubo de 5 pulgadas con una válvula de compuerta para graduar el caudal de agua, se arrancó el motor eléctrico por medio de un panel

de control y un generador diésel que es suficiente para un equipo de bombeo de hasta 50 HP. Luego de esto se procedió a hacer el aforo.

4.2. Aforo del pozo Corporación Sol Est.

Para llevar a cabo el aforo y el montaje del equipo, el técnico de aforo utilizó un piezómetro colocado en la parte alta de la descarga el cual le ayudó para medir las pulgadas de agua. Además, colocó un manómetro que inyecta oxígeno al sistema y controló, por medio de la línea de aire, las libras por pulgada cuadrada de presión desde el inicio de la prueba a cada 10 minutos y cuando el pozo se encontró estable a cada hora.

Se utilizó un amperímetro para controlar la corriente consumida por el motor eléctrico y evitar el sobrecalentamiento en el motor.

Con los datos obtenidos en psi, tomando en cuenta la profundidad a la que fue instalada la bomba y las pulgadas del piezómetro, se calculó el nivel estático, nivel dinámico y la producción en galones por minuto del pozo. El técnico tabuló estos datos en una hoja de aforo.

El objetivo del aforo de un pozo mecánico es saber la producción en galones por minuto y los niveles para poder calcular el equipo de bombeo que quedará instalado en el pozo permanentemente.

4.3. Resultados

Resultados obtenidos mediante el aforo del pozo Corporación Sol Est

Tabla II. Resultados de la prueba de bombeo

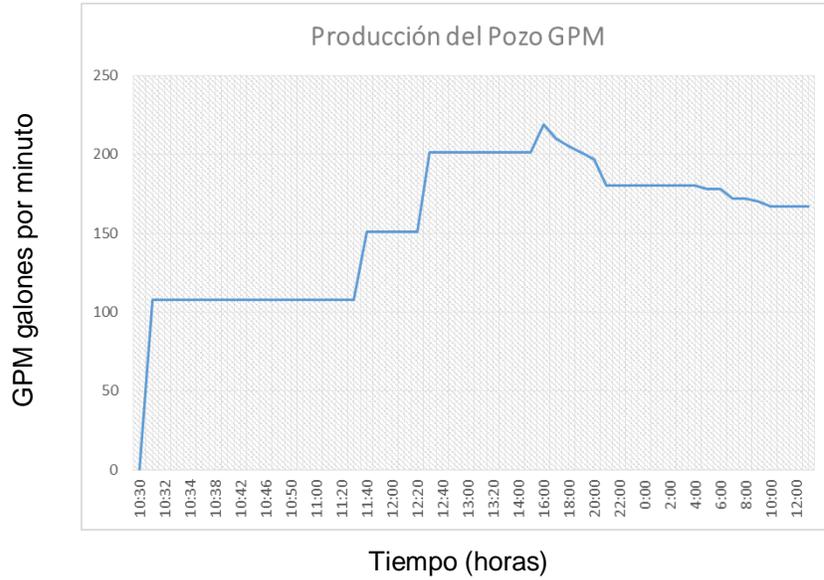
Hora	Tiempo	Nivel Estático	Nivel Dinámico	Pulgadas	GPM
10:30	0 m	200			
10:31	1 m		260,1	6	108
10:32	2 m		268,8		
10:33	3 m		275		
10:34	4 m		289		
10:36	6 m		298,4		
10:38	8 m		310		
10:40	10 m		321,2		
10:42	12 m		324,6		
10:44	14 m		332,1		
10:46	16 m		338,5		
10:48	18 m		342,2		
10:50	20 m		347,2		
10:55	25 m		356,5		
11:00	30 m		364,5		
11:10	40 m		368,3		
11:20	50 m		370,8		
11:30	1 hora		373,4		
11:40	70 m		402,3	13	151
11:50	80 m		406,2		
12:00	90 m		408,5		
12:10	100 m		409,2		
12:20	110 m		409,6		
12:30	2 horas		410,1	23	201
12:40	130 m		430,5		
12:50	140 m		441,3		
13:00	150 m		450,8		
13:10	160 m		458,2		
13:20	170 m		467,3		

Continuación tabla II

13:30	3 horas		476		
14:30	4 horas		494,7		
15:30	5 horas		518,2	23	201
16:30	6 horas		581,1	27	219
17:30	7 horas		625,7	25	210
18:30	8 horas		648,2	24	205
19:30	9 horas		660,8	23	201
20:30	10 horas		668,3	22	197
21:30	11 horas		651,3	18,5	180
22:30	12 horas		686,6		
23:30	13 horas		660		
0:30	14 horas		668,5		
1:30	15 horas		675,4		
2:30	16 horas		679,1		
3:30	17 horas		683,7		
4:30	18 horas		685,3	18,5	
5:30	19 horas		690	18	178
6:30	20 horas		699	18	178
7:30	21 horas		685	17	172
8:30	22 horas		730	17	172
9:30	23 horas		743	16,5	170
10:30	24 horas		746	16	167
11:30	25 horas		748,8	16	167
12:30	26 horas		754,8	16	167

Fuente: elaboración propia, transcrito de hoja de aforo de Daho Pozos.

Figura 5. Producción del pozo en GPM



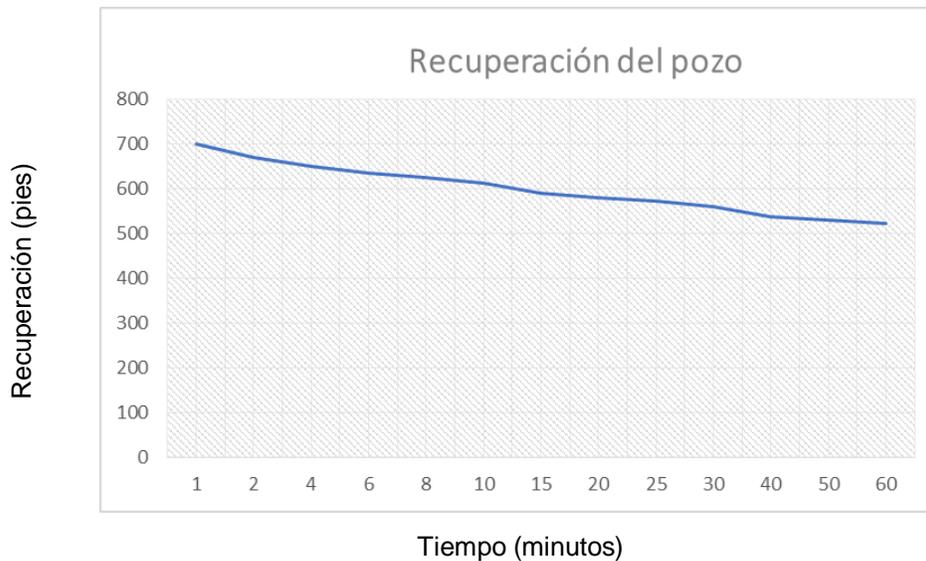
Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Recuperación del pozo

Recuperación	
t (minutos)	r (pies)
1	700,3
2	670,1
4	650,5
6	635,8
8	625,9
10	612,7
15	590,3
20	581,2
25	573,4
30	559,3
40	537,8
50	529,1
60	523

Fuente: elaboración propia, transcrito de hoja de aforo de Daho Pozos.

Figura 6. **Recuperación del pozo**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Selección de equipo permanente de producción

Para seleccionar el equipo de bombeo permanente que se instalará en la fase final del pozo, se debe tener un conocimiento completo del sistema en que trabajará la bomba y motor para no hacer una elección errónea que cause mal funcionamiento de la bomba, afectando la eficiencia del sistema.

4.4.1. Pasos para la elección de una bomba

Las bombas se eligen, generalmente, con los detalles completos del pozo. Se solicitan cotizaciones a proveedores para encontrar el equipo adecuado o bien efectuando cálculos completos del sistema de bombeo y eligiendo la unidad por medio de catálogos y gráficas.

Para elegir la bomba, se recomienda combinar ambos métodos. De esta forma, la selección del equipo no queda únicamente en manos del representante del proveedor, ya que su criterio limitado debido a su conocimiento parcial del sistema en que trabajará la bomba, le impide opinar con toda certeza. Para elegir cualquier tipo de bomba, se aplica el siguiente procedimiento:

- Elaborar un diagrama de la disposición de bomba y tuberías
- Determinar el caudal de bombeo
- Calcular la altura manométrica total
- Estudiar las condiciones del líquido
- Elegir la clase y tipo de bomba

4.4.2. Selección del equipo sumergible

La información que se obtuvo de la prueba de bombeo del pozo Corporación Sol Est. y los datos que se cuentan de los estudios elaborados en el sector son suficientes para calcular el equipo de bombeo completo que se quedará instalado de forma permanente en el lugar. El equipo está conformado por el motor, bomba sumergible, cables y tubería.

4.4.2.1. Selección de la bomba sumergible

Para iniciar, se calcula la carga dinámica total que hay en el pozo. Con este dato, se calcula la bomba sumergible que se necesita.

$$\text{CDT} = \text{ND} + \text{carga de pozo al tanque} + \text{carga de fricción} \\ + \text{accesorios} + \text{presión}$$

Donde:

CDT = Carga dinámica total.

ND = Nivel dinámico. Ver figura 8

Carga del pozo al tanque = Diferencia de altura entre boca pozo y la del tanque.

Carga de fricción = Fricción de la tubería

Accesorios = carga de fricción por accesorios. Ver tabla.

Figura 7. Cálculo del nivel dinámico del pozo

X= Distancia hasta el nivel del agua (en pies). Esta cifra se debe determinar.

Y= Largo total de la tubería de aire (en pies).

Z= Largo de la tubería sumergida. Este valor se obtiene de la lectura del manómetro de presión que se lee en libras por pulgada cuadrada (psi).

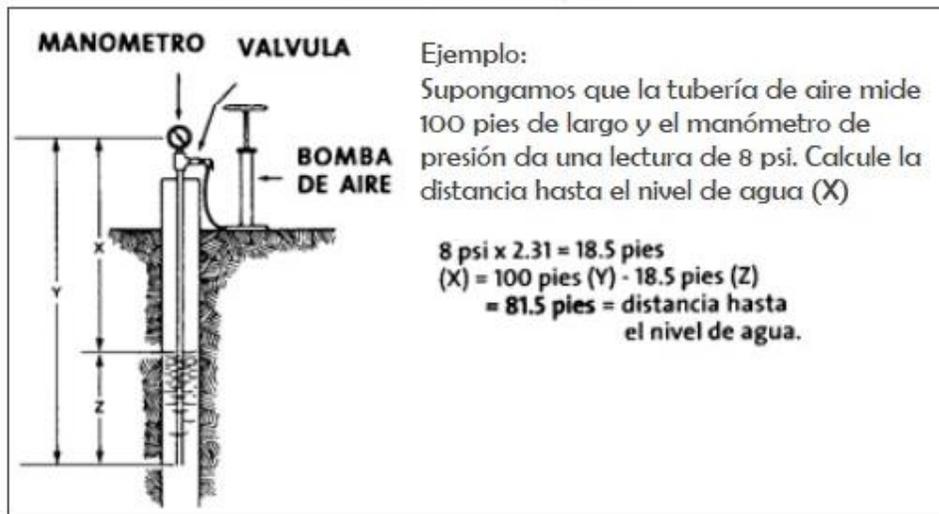
Multiplique la lectura del manómetro de presión por 2.31 para obtener el largo de la tubería de aire subterránea, en pies.

$$(X) = (Y) - (Z)$$

Distancia hasta el nivel del agua

= El largo total de la tubería de aire (Y) menos el largo de la porción sumergida de la tubería de aire (Z).

¿Cómo calcular la distancia hasta el nivel de agua?



Fuente: Catálogo para bombas sumergibles, Información Técnica Pág. 8-15.

4.4.2.1.1. Cálculo de eficiencia de la bomba

La eficiencia de una bomba se mide de acuerdo con caudal que se descarga contra una altura dada y con un rendimiento determinado. El rendimiento de la bomba se describe con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{P_i} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_t}{75 P_i}$$

Donde:

P_i = Potencia absorbida, HP.

γ = Peso específico del líquido a ser bombeado.

Q = Caudal, m³/s.

H_t = Altura manométrica, m.

η = Rendimiento de la bomba

Para determinar la potencia absorbida por el motor, se divide la potencia absorbida por la bomba entre la eficiencia del motor:

$$P_m = \frac{P_i}{\eta_m}$$

Donde:

P_m = Potencia del motor

η_m = Rendimiento de motor.

Los rendimientos de las bombas, generalmente, varían entre 60% y 85%. Las pérdidas de energía dentro de las bombas pueden clasificarse como volumétricas, mecánicas e hidráulicas.

Las pérdidas volumétricas se producen porque, entre la carcasa y el impulsor hay pequeñas separaciones por donde pueden presentarse fugas. Las pérdidas mecánicas se originan por fricciones mecánicas en las empaquetaduras y cojinetes, discos internos y esfuerzos cortantes creados por el líquido. Las pérdidas hidráulicas consisten en pérdidas por fricción y parásitas que se producen en la circulación del agua.

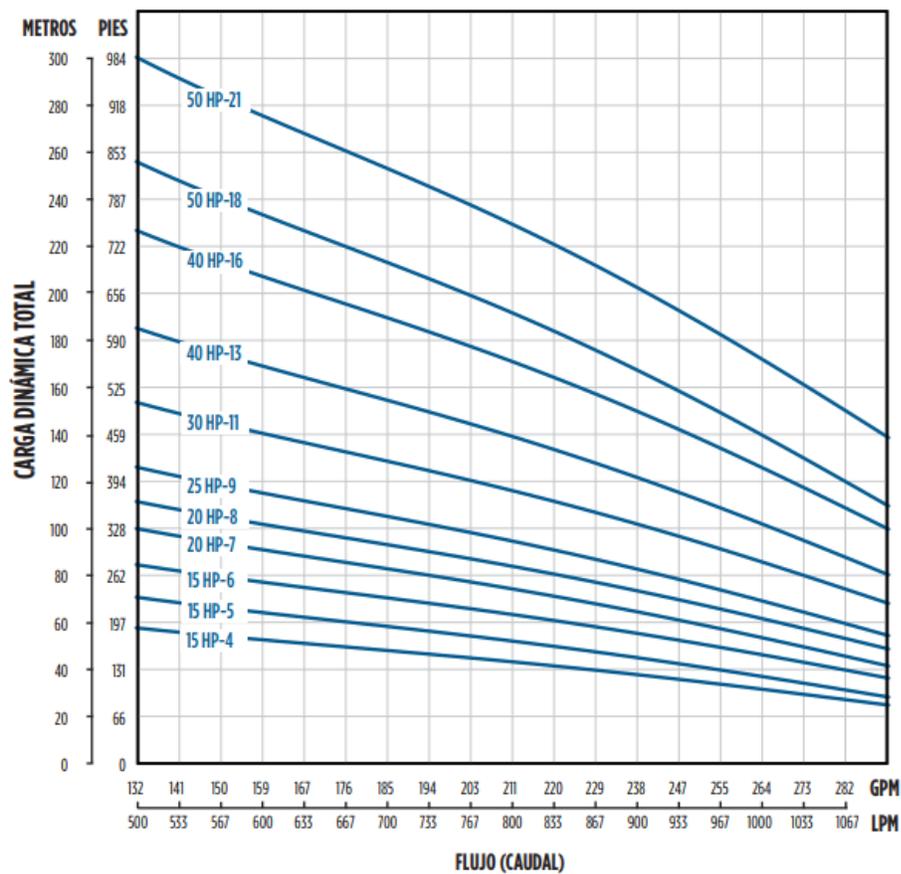
Tabla IV. **Pérdidas por fricción**

GPM	GPH	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
		ID								
		0.622"	0.824"	1.049"	1.380"	1.610"	2.067"	2.469"	3.068"	4.026"
2	120	4.8								
3	180	10.0	2.5							
4	240	17.1	4.2							
5	300	25.8	6.3	1.9						
6	360	36.5	8.9	2.7						
7	420	48.7	11.8	3.6						
8	480	62.7	15.0	4.5						
9	540	78.3	18.8	5.7						
10	600	95.9	23.0	6.9	1.8					
12	720		32.6	9.6	2.5	1.2				
14	840		43.5	12.8	3.3	1.5				
16	960		56.3	16.5	4.2	2.0				
20	1,200		86.1	25.1	6.3	2.9				
25	1,500			38.7	9.6	4.5	1.3			
30	1,800			54.6	13.6	6.3	1.8			
35	2,100			73.3	18.2	8.4	2.4			
40	2,400			95.0	23.5	10.8	3.1	1.3		
45	2,700				29.4	13.5	3.9	1.6		
50	3,000				36.0	16.4	4.7	1.9		
60	3,600				51.0	23.2	6.6	2.7		
70	4,200				68.8	31.3	8.9	3.6	1.2	
80	4,800				89.2	40.5	11.4	4.6	1.6	
90	5,400					51.0	14.2	5.8	2.0	
100	6,000					62.2	17.4	7.1	2.4	
120	7,200						24.7	10.1	3.4	
140	8,400						33.2	13.5	4.5	1.2
160	9,600						43.0	17.5	5.8	1.5
200	12,000						66.3	27.0	8.9	2.3
260	15,600							45.0	14.8	3.7
300	18,000							59.6	19.5	4.9

Fuente: Grundfos Inc. Catálogo para bombas sumergibles Información Técnica Pág. 8-8

Cuando se encuentra la carga dinámica total se busca en las curvas de rendimiento y los galones por minuto que produce el pozo, para calcular la bomba que se necesita.

Figura 8. **Curva de rendimiento**



Fuente: Catálogo de bombas sumergibles SSI Franklin

4.4.2.2. Elección del motor sumergible

Cuando se calcula el tipo de bomba sumergible, se sabe el caballaje para el motor, ya que el modelo de la bomba indica el motor que se debe usar,

puede ser de mayor caballaje que la bomba, ya que, en estas condiciones, el motor trabajaría con menos carga y se alargaría su tiempo vida útil.

La bomba no puede ser de mayor caballaje que el motor porque en estas circunstancias el motor trabajaría forzado y sufriría de calentamiento y daño parcial o total.

4.4.2.3. Selección del cable sumergible

Para el cálculo del cable sumergible se utilizó la tabla 5. En la primera columna del lado derecho se encuentra el voltaje, la frecuencia, el número de fases y el número de líneas.

En la siguiente columna aparecen los diferentes caballajes y luego las profundidades a las que se instalan los motores y en la parte superior de cada columna el calibre del cable a utilizar.

La tabla se utiliza de la forma siguiente: primero se busca el voltaje, luego el caballaje; horizontalmente se busca la profundidad a la cual se instalará el equipo y,, en ese punto se busca en la parte superior de esa columna y allí se encuentra el calibre de cable correspondiente al voltaje y profundidad de colocación del equipo sumergible.

Tabla V. Selección de cable sumergible para bombas



Máxima longitud en metros para 460V / 60Hz y caída de voltaje de 5% a temperatura ambiente 30°C Ampacidad del Cable Forrado, Publicación IEC 384-5-523 (edición 1983), Tabla 52-B1, Métodos de Instalación C & G																		
Arranque Directo																		
Potencia		Tamaño de cable AWG/MCM, cable de cobre – temperatura del conductor 70°C																
		AWG										MCM						
KW	HP	14	10	9	6	5	25	1	1/0	3/0	4/0	250	300	400	500	600	800	1000
185	250													210*	250	280	330	330
220	300													170	200	230	260	290
250	340													170	200	230	250	
300	400														170	200	220	
350	475																160	180
400	545																	160
Arranque en Estrella – Delta (6 hilos)																		
Potencia		Tamaño de cable AWG/MCM, cable de cobre - temperatura del conductor 70°C																
		AWG										MCM						
KW	HP	14	10	9	6	5	25	1	1/0	3/0	4/0	250	300	400	500	600	800	1000
185	250										190*	240	270	310	370	420	490	500
220	300										160	190	220	260	300	340	390	440
250	340										140	160	190	220	260	300	340	380
300	400											140	170	190	230	260	300	330
350	475													160	180	210	240	270
400	545													140	170	190	220	240

* solo para cable de conductor individual

Fuente: Noticias del Mercado <https://franklinlinkmx.wordpress.com/category/franklin-aid/page/3/>

El cable seleccionado para el accionamiento de la bomba es calibre 4 de tres líneas, por medio de fórmulas se comprueba la corriente que utiliza el motor, tomando en cuenta el voltaje y la potencia.

4.4.2.4. Selección de la tubería

Para calcular la tubería, se determina la medida de descarga de la bomba en pulgadas y luego se busca en la tabla 4, que es la tabla de pérdidas por fricción en la tubería de acero SCH 40, del manual de bombas sumergibles.

La tabla muestra en la primera columna los galones por minuto, en las columnas siguientes la fricción y en la parte superior los diámetros de tubería en pulgadas. La tabla se usa de la siguiente manera: se busca en la primera

columna los galones por minuto que va a producir la bomba que se instalará y luego se busca horizontalmente en línea con los GPM la mínima fricción, y en ese punto se sube a la parte superior de la columna donde indica el diámetro adecuado de tubería para los, en este caso 170 galones por minuto.

Se puede calcular con esta misma tabla la fricción de la tubería. El número que proporciona la tabla debe multiplicarse por cada 100 pies de longitud y esa es la pérdida de fricción o carga en pies de la tubería.

Por lo general, el diámetro de descarga en pulgadas de la bomba viene adecuado para la tubería que se utilizará, por ejemplo, si la descarga de la bomba fuera de 4", la tubería a utilizar es del mismo diámetro.

Si el diámetro de descarga de la bomba fuera mayor que el diámetro de la tubería seleccionada, se recurre a un reductor bushing de tubería que se coloca en la salida de la bomba y si la salida de la bomba es de menor diámetro que la tubería seleccionada, se coloca un reductor de campana en la salida de la bomba.

Tabla VI. Cálculo de corriente y potencia

ELECTRICAL FORMULAS FOR CALCULATING AMPERES, HORSEPOWER, KILOWATTS, AND KVA

TO FIND	DIRECT CURRENT	ALTERNATING CURRENT		
		SINGLE PHASE	TWO PHASE/FOUR WIRE	THREE PHASE
AMPERES WHEN "HP" IS KNOWN	$\frac{HP \times 746}{E \times \%EFF}$	$\frac{HP \times 746}{E \times \%EFF \times PF}$	$\frac{HP \times 746}{E \times \%EFF \times PF \times 2}$	$\frac{HP \times 746}{E \times \%EFF \times PF \times 1.73}$
AMPERES WHEN "KW" IS KNOWN	$\frac{KW \times 1000}{E}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times PF}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times PF \times 2}$	$\frac{KW \times 1000}{E \times PF \times 1.73}$
AMPERES WHEN "KVA" IS KNOWN		$\frac{KVA \times 1000}{E}$	$\frac{KVA \times 1000}{E \times 2}$	$\frac{KVA \times 1000}{E \times 1.73}$
KILOWATTS (True Power)	$\frac{E \times I}{1000}$	$\frac{E \times I \times PF}{1000}$	$\frac{E \times I \times PF \times 2}{1000}$	$\frac{E \times I \times PF \times 1.73}{1000}$
KILOVOLT-AMPERES "KVA" (Apparent Power)		$\frac{E \times I}{1000}$	$\frac{E \times I \times 2}{1000}$	$\frac{E \times I \times 1.73}{1000}$
HORSEPOWER	$\frac{E \times I \times \%EFF}{746}$	$\frac{E \times I \times \%EFF \times PF}{746}$	$\frac{E \times I \times \%EFF \times PF \times 2}{746}$	$\frac{E \times I \times \%EFF \times PF \times 1.73}{746}$

PERCENT EFFICIENCY = % EFF = $\frac{\text{OUTPUT (WATTS)}}{\text{INPUT (WATTS)}}$ POWER FACTOR = PF = $\frac{\text{POWER USED (WATTS)}}{\text{APPARENT POWER}} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}}$

NOTE: DIRECT-CURRENT FORMULAS DO NOT USE (PF, 2, OR 1.73)
 SINGLE-PHASE FORMULAS DO NOT USE (2, OR 1.73)
 TWO-PHASE/FOUR-WIRE FORMULAS DO NOT USE (1.73)
 THREE-PHASE FORMULAS DO NOT USE (2)

E = VOLTS
 I = AMPERES
 W = WATTS

Fuente: NFPA 70: National Electrical Code tabla 450.3(B)

Se utiliza la columna 3 de corriente alterna y se busca el amperaje que pasará a través del cable utilizando los datos que se conocen del motor y bomba:

$$I = \frac{HP * 746}{E * \%EFF * PF * 1,73}$$

$$I = \frac{40 * 746}{460v * 80\% * 1.6 * 1,73} = 29,3 \text{ Amperios}$$

4.5. Calidad del agua

El personal técnico que supervisa los trabajos en este pozo llevó un informe de perforación donde incluyó los registros y observaciones para elaborar el perfil estratigráfico del pozo. Este incluye un registro exacto de la localización superior e inferior de cada estrato de terreno perforado y la toma de muestras de los materiales encontrados en el curso de la perforación, los cuales fueron tomados cada 1,50 metros de profundidad.

Estas muestras, de acuerdo con el ritmo de perforación, diariamente, se introdujeron en bolsas de polietileno de 250 gramos, rotuladas con la profundidad exacta a la que se extrajo la muestra y se enviaron a un laboratorio reconocido de calidad del agua donde se les practicaron análisis fisicoquímico, bacteriológico, de conductividad eléctrica, temperatura y PH.

4.5.1. Examen bacteriológico

Las muestras que se tomaron en cada uno de los procesos de perforación y prueba de bombeo fueron captadas, preservadas y transportadas, en recipientes esterilizados y de acuerdo a las normas establecidas en los protocolos normales de laboratorios, para medir los siguientes parámetros: coliformes fecales y coliformes totales, que no son más que exámenes para determinar la existencia de estos tipos de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación.

4.5.2. Examen fisicoquímico

De la misma forma que las muestras para exámenes bacteriológicos las muestras deben ser tratadas y movilizadas según los estándares que rigen la práctica profesional para cada uno de los parámetros a ser medidos, en este caso: color verdadero, temperatura, PH, cloruros, turbiedad, conductividad, amoníaco, cloro residual, calcio, magnesio, sólidos totales, nitratos, nitritos, hierro, fluoruro, cianuro y arsénico entre otros.

4.5.3. Desinfección del pozo

Después de que el pozo fue completamente construido e instalado el equipo se limpió cuidadosamente de toda sustancia que pudiera ser contaminante, se debe revestir usando agentes alcalinos para la limpieza de aceites y grasas y posteriormente desinfectar el pozo mediante una solución de hipoclorito de sodio en cantidad suficiente que permita al pozo una concentración mínima de 60 partes por millón.

5. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo son actividades con base en rutinas programadas que predicen una falla por terminar la vida útil de un equipo eléctrico, motor o bomba, de acuerdo con indicaciones del manual del fabricante.

Las bombas sumergibles que se utilizan regularmente sirven únicamente para impulsar agua limpia bajo condiciones normales de servicio. Si se le da algún otro uso o aplicación, debe ser consultado con el fabricante para que la bomba no sufra ningún desperfecto o trabaje en condiciones inadecuadas.

Las bombas sumergibles se someten a múltiples pruebas y verificaciones, antes de salir de la fábrica y al comprarlas el fabricante adjunta las instrucciones de servicio para el montaje, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento, de acuerdo con las normas internacionales de seguridad. A continuación, se presenta un plan mantenimiento para bombas sumergibles estándar.

5.1. Plan de mantenimiento para el equipo de bombeo sumergible

Los equipos compuestos por bombas sumergibles funcionan normalmente sin necesidad de mantenimiento constante pero se deben tomar en cuenta algunas recomendaciones para su uso y conservación correctos, por ejemplo, si el equipo estará durante un largo período de tiempo en reposo, se recomienda ponerlo en marcha cada 2 o 3 meses durante 10 minutos, de modo que se detecten a tiempo fallos en el funcionamiento, Es importante recordar que el equipo de bombeo debe estar completamente sumergido en el medio bombeado durante la prueba de funcionamiento.

Debido a que los equipos se utilizan en grandes profundidades se recomienda realizar controles regulares para detectar fallos a tiempo. Dichos controles pueden ser el consumo de corriente, altura de elevación, caudal, tensión de la red, las horas de servicio y verificación del aislamiento. De los anteriores el más importante a considerar para la verificación del buen funcionamiento del equipo es el consumo de corriente del motor.

5.1.1. Instrucciones para mantenimiento

A pesar de haber mencionado que estos equipos no necesitan de mantenimiento constante es posible que, en algún momento, se realice un servicio menor para alargar el tiempo de vida útil del equipo ya que las inspecciones regulares y el mantenimiento menor de la bomba garantizan un y más seguro funcionamiento. Algunos de los servicios menores son:

5.1.1.1. Inspección

Este servicio se realiza para evitar interrupciones del funcionamiento y averías de la máquina. Es una medida que garantiza el rendimiento y la eficiencia de la bomba.

Puede incluir aspectos, como el nivelado del impulsor, el control y la sustitución de las piezas de desgaste, el control de los ánodos de zinc y la supervisión del estator. Se debe realizar aproximadamente dos veces al año. Algunas de las inspecciones más generales que se realizan son:

En las piezas visibles de la bomba y la instalación se debe comprobar que los tornillos, pernos y tuercas estén bien apretados, revisar el estado de la

carcasa de la bomba, el filtro, la cubierta, las asas de elevación, los pernos de ojo, las cuerdas, las cadenas y los cables, mientras se inspecciona tener especial cuidado de identificar piezas desgastadas o deterioradas. Se debe ajustar o sustituir lo que se necesite.

En tubos, válvulas y otros equipos periféricos se debe comprobar si hay piezas desgastadas o deterioradas y ajustar y sustituir si se necesita.

Para el impulsor se revisa también las piezas desgastadas y sustituirlas. El desgaste del impulsor o de las piezas próximas requiere el ajuste fino del impulsor o la sustitución de las piezas gastadas.

Para comprobar el estado del aceite se debe tomar una muestra. Si este tuviera partículas, se debe reemplazar el sello mecánico. Esta tarea debe llevarla a cabo el personal autorizado. Además, se tiene que revisar que el nivel esté correcto.

De esta forma, se revisan otros componentes, como la entrada del cable, el estado del cable, sistema de refrigeración, los sensores de nivel, equipos de detección, equipo de arranque, aislamiento, etc.

5.1.1.2. Revisión general

Se realiza para comprobar que el equipo tenga una larga vida útil. Incluye la sustitución de los principales componentes y las medidas tomadas durante una inspección. Debe ser realizada como mínimo una vez al año.

Puede que sea necesario realizar dichos servicios en intervalos más cortos, pero esto depende de las condiciones de trabajo del equipo si este

funciona en condiciones extremas ya sea por aplicaciones muy agresivas, corrosivas o de exceso de temperatura en el líquido.

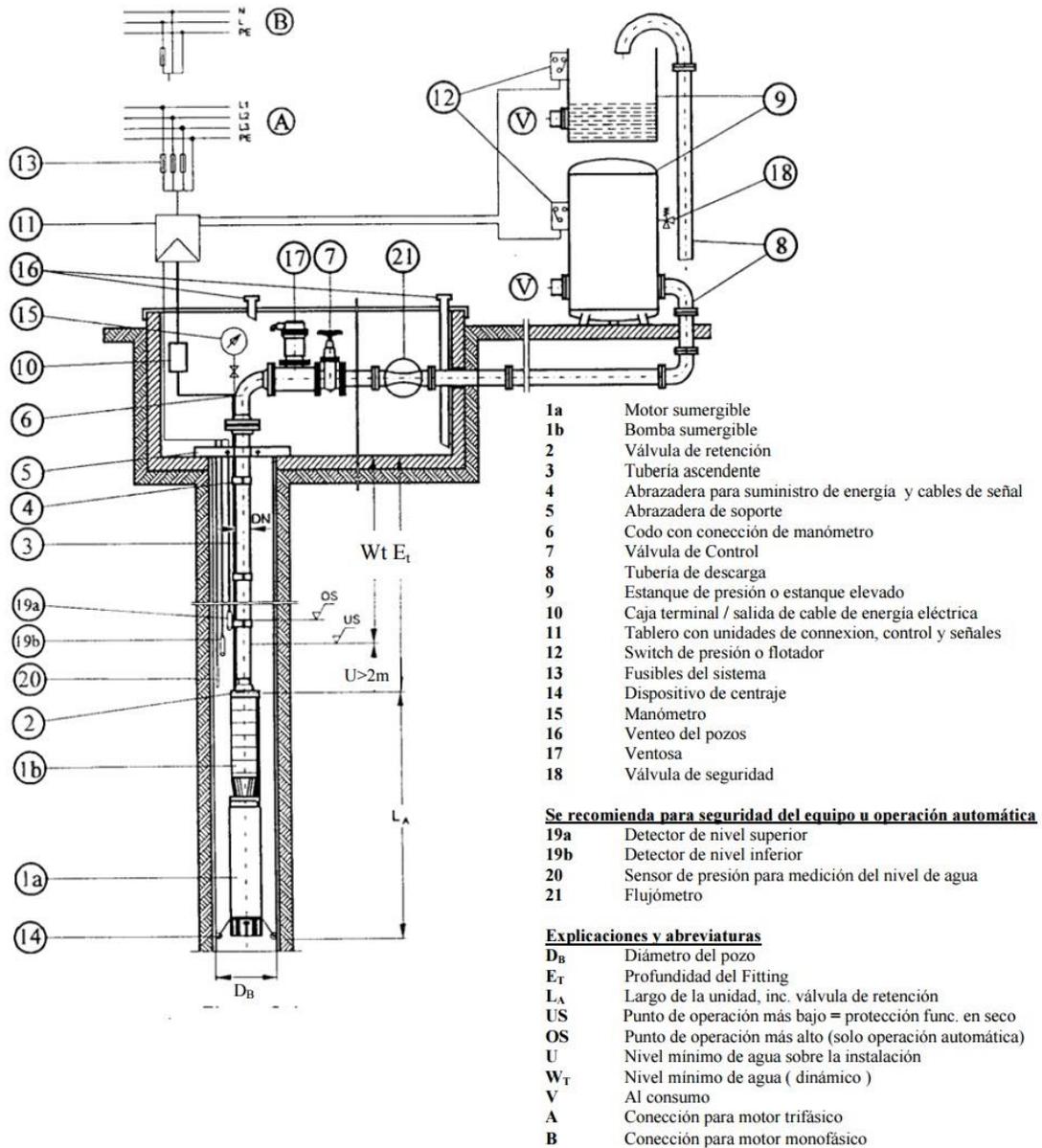
5.2. Prevención de fallos

El cuidado del equipo de bombeo sumergible inicia desde su compra. Se debe elegir correctamente el equipo para que funcione eficientemente. Otro factor son las indicaciones que se encuentran en la máquina o el equipo, por ejemplo: la flecha de sentido de giro, el marcaje de las conexiones, la placa de características de potencia. Cada equipo cuenta con sus indicaciones y se deben tomar en cuenta.

El montaje de un equipo de abastecimiento de agua se indica en la figura 9. Debido a que es un esquema modelo se debe tomar en cuenta que cada instalación debe adaptarse a las condiciones del lugar en que se haya hecho la instalación.

Los componentes adicionales indicados son recomendaciones destinadas a aumentar la seguridad de servicio y la protección del equipo.

Figura 9. Diagrama modelo de sistema de abastecimiento de agua



Fuente: Manual de servicio para bombas sumergibles Flowpap PDF disponible en línea.

Es posible que después de que el equipo haya estado durante un largo tiempo en funcionamiento, las condiciones de trabajo se modifiquen, por ejemplo, si desciende el nivel del agua, el interruptor de protección del motor se debe ajustar, pero no debe estar por encima del valor máximo permisible indicado en la hoja de características.

Además, se deben tomar en cuenta factores de seguridad, por ejemplo: solo el personal capacitado en el funcionamiento del equipo bombeo lo pondrá en marcha. Esto podrá realizar cuando esté totalmente instalado y la bomba llena y sumergida.

Las protecciones de piezas móviles como acoplamientos no pueden retirarse mientras la instalación se encuentra en funcionamiento. También es necesario que se disminuya el riesgo de accidentes o daño al mínimo a causa de la energía eléctrica tomando las precauciones necesarias.

El usuario del equipo se debe encargar de que el equipo funcione correctamente. Por eso, el personal técnicamente capacitado, que se haya informado lo suficiente del trabajo y utilice como respaldo, sin excepción, el manual de servicio podrá aplicar mantenimiento, inspección o montaje al equipo. El usuario también debe corroborar que la instalación se realicen cuando el equipo esté en reposo.

La instalación eléctrica y la conexión hidráulica la debe llevar a cabo personal capacitado en cada área.

5.2.1. Prevención de fallos comunes

Las bombas sumergibles son útiles en sistemas de bombeo ya que reducen costos energéticos, debido a su amplia gama de presiones de descarga, potencias, y una variedad de flujos nominales. Cubren una enorme cantidad de aplicaciones, como el suministro de agua básico. También son útiles en calderas, ventilación y aire acondicionado, industria ligera, irrigación y agricultura y tratamiento de agua.

Un variador de frecuencia combinado con una bomba le da mayor versatilidad a los sistemas de bombeo. Aun así, surge la idea errónea de que un variador de frecuencia permite la operación de la bomba sin dimensionarla de acuerdo con su aplicación. Adicional al adecuado dimensionamiento, existen guías para una correcta prevención de fallos comunes, asegurando así una mayor duración de vida útil de la bomba.

La prevención de fallos en el equipo sumergible inicia desde la selección e instalación. A continuación, se enlistan algunas prevenciones.

- Conocer las necesidades de flujo y carga máximos para dimensionar apropiadamente el equipo sumergible es el primer paso para prevenir fallos antes de instalar.
- El variador de frecuencia no brinda al equipo sumergible capacidades más allá de las que especifica el fabricante. Por eso, puede producirse sobrecarga si la bomba no se encuentra dimensionada correctamente. Además, se debe programar correctamente el sistema para sobrecargas con la intención de apagar el equipo en caso de fallas.
- Al configurar un sistema de bombeo para ser controlado por un variador de frecuencia, se deben seguir cuidadosamente las guías de instalación del

fabricante en relación con la necesidad de utilizar filtros de salida para reducir daños en el sistema de aislamiento del motor ante picos de voltaje.

- Se debe configurar de forma correcta la válvula de estrangulamiento en el arranque del equipo, si el transductor y la retroalimentación PID (controlador proporcional integral derivativo) no permiten el monitoreo de la descarga de la bomba.
- Se puede instalar una válvula de control de flujo en la línea de descarga de la bomba para prevenir que esta vaya más allá de su rango de operación recomendado.
- Se deben seguir cuidadosamente los procedimientos indicados por el manual del usuario proporcionado por el fabricante y probar de manera repetitiva el sistema previo al arranque.
- Cuando se adquiere el equipo sumergible y el variador de frecuencia, se debe escoger la marca o fabricante que garantice el funcionamiento y servicio en campo para asegurar cobertura de futuros inconvenientes o también para la rápida resolución de dudas. De esta forma se puede continuar inmediatamente con el máximo desempeño del sistema de bombeo.
- Al utilizar un variador de frecuencia en cualquier bomba, las fallas de rodamientos producidas por descargas eléctricas pueden ser prevenidas con el uso de anillos de puesta a tierra o verse reducidas de manera significativa con el uso de filtros, pues el equipo podría verse sometido a desmontaje prematuro a causa del bombeo de arena o medios agresivos.

5.3. Vida útil del equipo

El equipo puede funcionar sin necesidad de medidas de mantenimiento en tanto no se produzcan irregularidades en la marcha o en el bombeo a causa de arena o medios agresivos, lo cual requeriría un desmontaje prematuro.

Existen indicadores, como un consumo de corriente discontinuo rápidamente creciente que indica que se producen fallos de carácter mecánico en la bomba o en el motor; si la presión oscila considerablemente o lo hace la medición del amperímetro, esto puede deberse a un aflujo irregular de agua.

El diseño práctico de los equipos de bombeo permite desmontar y volver a montar las piezas mediante procedimientos sencillos. Para el desmontaje se le solicita al fabricante una instrucción adecuada, sin embargo, es recomendable que personal especializado realice el trabajo y, antes de poner la instalación fuera de servicio para empezar los trabajos de desmontaje, se debe leer atentamente el manual de servicio que brinda el fabricante del equipo.

5.4. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento se debe aplicar cada cierta cantidad de horas de trabajo, se debe planificar para evitar el desgaste excesivo sobre las piezas de la bomba el objetivo principal de este tipo de mantenimiento consiste en la detección de fallos en fase inicial para solucionarlos de inmediato, si es posible, o en el momento oportuno.

Estas inspecciones rutinarias generan una órdenes de trabajo para realizar sobre el equipo y se convertirán en el historial de intervenciones de la bomba. A partir de allí, pueden generarse trabajos que se deben realizar con la

instalación en marcha o trabajos que serán programados con paro de la instalación.

Las ventajas de realizar esta inspección sobre las bombas es la confianza de conocer el estado y funcionamiento del equipo, disminución del tiempo de parada por desgaste o fallo de la bomba, mayor duración del equipo y la instalación. Los trabajos correctivos más comunes que se realizan sobre una bomba son la reparación de fugas en la instalación y cambio de piezas por desgaste.

5.4.1. Fichas de control de equipo

Estas fichas de control sirven para llevar un record de las revisiones que se le realizan al equipo, mantenimientos realizados, piezas que se cambian por desgaste o fallo.

La persona encargada de llenar esta ficha certifica que se ha examinado cada parte, que el equipo que lo requiera ha sido lubricado correctamente y que todas las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo han sido ejecutadas según las recomendaciones del fabricante y, que, en su opinión, está operando de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

En la tabla 7 se muestra un ejemplo de una ficha de control en la que se detallan las diferentes inspecciones y controles de mantenimiento que se pueden tener sobre el equipo, en este caso la bomba sumergible con su motor y la instalación en general.

Tabla VII. Ejemplo de ficha de control de equipo

CONTROL DE MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BOMBEO LISTA DE CHEQUEO DE EQUIPOS												
UBICACIÓN EQUIPO:						N° DE INVENTARIO:						
FUNCIÓN DEL SISTEMA:												
TIPO DE MANTENIMIENTO: PREVENTIVO () CORRECTIVO ()												
MARCA:			MODELO:			SERIE:						
POTENCIA [HP] / [kW]:		CORRIENTE [A]:		VOLTAJE [V]:		FP:	Grado de protección:		RPM:			
Orden de Trabajo (OT):												
Fecha de ejecución:												
				RUTINA 1			RUTINA 2			RUTINA 3		
LISTA DE CHEQUEO				C	NC	NA	C	NC	NA	C	NC	NA
SISTEMA ELECTRICO	Revisar e indicar calibre de los conductores de potencia:											
	Revisar secuencia de fases											
	Revisar protección principal en la fuente. Apretar terminales											
	Revisar protección principal local. Apretar terminales											
	Revisar protecciones térmicas											
	Revisar contactores											
	Revisar elementos de maniobra. pulsadores, cojinos, manillas											
	Revisar pilotos											
	Revisar y ajustar borneras en motor											
	Comprobar maniobra de arranque											
	Revisar temporizador o controlador de arranque/parada											
	Revisar resistencia de aislamiento											
	Revisar suiche flotador											
	Revisar conexión a tierra											
SISTEMA MECÁNICO	Revisar temperatura de la carcasa											
	Revisar estado del eje											
	Revisar estado del acople											
	Revisar estado del ventilador											
	Revisar rodamientos del motor. Lubricar											
	Revisar rodamientos de la bomba. Lubricar											
	Revisar funcionamiento de bandas y poleas											
	Revisar estado de las bobinas											
	Revisar estado del rotor											
	Revisar estado del estator											
	Revisar estado de los soportes											
	Revisar alineación											
	Revisar filtros											
	Revisar empaques de motor											
	Revisar empaques de bomba											
	Revisar conexiones flexibles											
	Revisar válvulas: mariposa, bola, cheque, triple servicio											
Revisar tuberías de suministro y succión												
GENERAL	Estado general de pintura de los equipos											
	Realizar inspección general del equipo (ruidos extraños y vibraciones)											
	Estado general del entorno. Describir anomalías											
Realizar Limpieza general y organización del área de trabajo												
Tiempo de ejecución [horas]:												
Técnico responsable:												

Fuente: elaboración propia a partir del manual de evaluación de sistemas de bombeo BID PDF disponible en línea.

5.4.2. Corrección de fallos más comunes

A continuación se detallan los fallos más comunes que se presentan en las bombas.

Tabla VIII. Averías comunes y su eliminación

Síntoma de la Falla	Causa	Posible Fallo	Posibilidad de subsanar la avería
Protección del motor se dispara	Ajuste del interruptor de Protección del motor demasiado bajo	Protección del motor mal ajustada	Ajustar de nuevo el interruptor de protección del motor de acuerdo con la hoja técnica de datos o la placa de características
	Consumo de corriente del motor demasiado elevado	Tensión demasiado baja o falsa frecuencia	Verificar la tensión de la red y la frecuencia (verificar si los datos en la placa de características corresponden a la tensión de la red y a la frecuencia)
		Interrupción de una fase	Verificar los fusibles
		Bomba a motor giran con dificultad	Verificar si hay desperfectos en los cables de acometida
Bomba no arranca	Falta de tensión	Fusible (s) fundido (s)	Cambiar el/los fusible (s)
		Cable (s) de acometida defectuoso (s)	Cambiar el/los cables de acometida
		Protección del motor se ha disparado	Buscar el motivo del disparo y reactivar el interruptor de protección del motor
	Bomba Bloqueada	Suciedad en la bomba	Desmontar y limpiar la bomba
Caudal demasiado reducido	Sentido de giro falso	Sentido de giro no ha sido verificado	Modificar el sentido del giro
	Estrecheces en la tubería de presión	Las válvulas de cierre no se han abierto por completo	Abrir la válvula de cierre por completo
		Tubería de presión obstruida	Limpiar la tubería de presión
		Cuerpos extraños en la tubería	Limpiar la tubería
		Filtro de poso obstruido	Desmontar el equipo y regenera el poso
	Fuga en la tubería de presión	Tubería defectuosa	Verificar la tubería

Continuación tabla VIII.

Caudal demasiado reducido (cont.)	Rodetes gastados	Gran contenido de arena en el medio a transportar	Desmontar la bomba y repararla (verificar la elección del material de acuerdo con un análisis del agua)
		Agresividad del medio a transportar	Verificar las condiciones de servicio
		Cavitación	
	Régimen de revoluciones demasiado reducido	Tensión demasiado baja o frecuencia falsa	Verificar la tensión y frecuencia de la red
		El motor marcha con una fase	Verificar los fusibles
Deterioro de rodamientos		Desmontar el equipo y repararlo	
Equipo se pone en marcha pero no succiona	Altura de presión demasiado elevada	La altura total de presión del sistema no corresponde a la curva característica de la bomba	Disminuir la altura de presión
	Equipo no está siempre sumergido en el medio que transporta	Profundidad de instalación demasiado reducida	Verificar el nivel del pozo y/o suspender el equipo más profundamente
	Tubería de presión no está libre	Válvula de cierre cerrada	Verificar los depósitos de cierre
	El motor marcha pero la bomba no gira	Acoplamiento defectuoso entre la bomba y el motor	Desmontar y reparar el equipo
	Filtro de aspiración obstruido	Cuerpos extraños en el pozo	Desmontar el equipo y limpiar el filtro de aspiración

Fuente: manual de servicio para bombas sumergibles Flowpap PDF disponible en línea.

Antes de cualquier tipo de revisión en el equipo de bombeo se debe desconectar y bloquear la corriente eléctrica, excepto cuando se realicen comprobaciones que la necesiten y además comprobar que no haya nadie cerca de la bomba cuando esta se vuelva conectar la corriente. Para examinar los equipos eléctricos se debe utilizar: multímetro universal, lámpara de ensayo, medidor de continuidad y diagrama de cableado.

El equipo puede ser reparado de fallos comunes mediante la observación atenta de sus síntomas. En la tabla 8 se presentan algunos de los fallos más comunes y el procedimiento a seguir para el diagnóstico y reparación inmediatas.

CONCLUSIONES

1. La perforación de pozos es la solución eficaz y económica que se ha encontrado ante el problema de la escasez de fuentes de abastecimiento para la distribución de agua potable en la ciudad de Guatemala.
2. Para llevar a cabo la perforación de un pozo mecánico es necesario realizar un estudio hidrogeológico, para saber si el lugar es adecuado para la explotación de agua.
3. Para elegir de manera correcta la máquina y equipo por utilizar en la perforación se debe tomar en cuenta el estudio hidrogeológico, la profundidad de perforación y tipo de pozo.
4. Cuando se instala el equipo bomba-motor sumergible, se procede a realizar las pruebas de arranque, verificando las características eléctricas y niveles, indicadores que nos permiten conocer el estado de funcionamiento del equipo sumergible.
5. Para elegir el equipo de producción permanente a ubicarse en el pozo es necesario tomar en cuenta los datos obtenidos de la prueba de bombeo.
6. Para calcular la potencia del conjunto motor-bomba sumergible de un pozo mecánico de agua, es necesario contar con las características hidráulicas del pozo, como el diámetro, profundidad, caudal y carga dinámica total.

7. Gracias a los resultados en la prueba de bombeo realizados en el pozo Corporación Sol Este se estableció que el pozo ofrece un caudal de producción de 170 galones por minuto.
8. Cuando el equipo de bombeo se encuentra en funcionamiento, se debe realizar el mantenimiento respectivo para incrementar la vida útil del mismo.
9. Las prácticas inadecuadas de mantenimiento pueden producir fallas en el sistema y deficiencias sanitarias. Se debe establecer y seguir un programa escrito de mantenimiento preventivo para cada equipo de la instalación de bombeo.

RECOMENDACIONES

1. Tomar conciencia de que, pese a que la perforación de pozos es una de las soluciones más eficaces ante el problema de escasez de agua, es necesario valorar este recurso en la medida de no desperdiciarlo ni contaminar las diferentes fuentes hídricas del país.
2. Una medida de gran importancia para el cuidado de los recursos hídricos de la región es el correcto estudio hidrogeológico de los mantos acuíferos a explotar.
3. Capacitar al personal de operaciones de los equipos sumergibles de bombeo para solucionar problemas en situaciones como, fluctuaciones de voltaje, alteraciones de amperaje y pérdida de caudal.
4. Realizar las pruebas de arranque verificando correctamente las características del equipo, para poder conocer el estado de funcionamiento inicial del equipo.
5. Se les insta a los técnicos involucrados en la perforación y aforo a recibir capacitación no solo de su trabajo como técnicos encargados de perforación sino de mantenimientos mínimos, para asegurar el buen funcionamiento y larga vida del equipo de bombeo.
6. En el momento de tomar apuntes y efectuar los cálculos se haga de forma ordenada y sistematizada, para evitar un error que pueda significar problemas en el proyecto, por lo que se recomienda revisar

con especial cuidado todo el procedimiento para el técnico encargado.

7. Tener una comunicación continua entre el encargado de el equipo de bombeo y con el fabricante de bombas, para que este suministre información sobre mejores métodos y herramientas para el mantenimiento de bombas y, además, plantearle los inconvenientes que se tiene al momento de ejecutar las tareas de mantenimiento, para que este proceda a diseñar herramientas apropiadas.
8. Se insta a todo el personal involucrado mantener un plan de capacitación y evaluación relacionado con el mantenimiento de bombas, para aumentar la eficiencia de las tareas y la confiabilidad de los equipos.
9. Tomar en cuenta todas las recomendaciones de prevención y corrección de fallos que son dadas a conocer en manuales del equipo o en folletos de indicaciones del fabricante. De esta forma garantizaremos la vida útil del equipo y su eficiente funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. CRESPO, Antonio. *Mecánica de Fluidos*. 1ª ed, Madrid, España: Paraninfo, 2002. 709 p.
2. Franklin Electric. *Motores Sumergibles, Aplicación, Instalación y Manual de Mantenimiento*. [en línea].
<<http://www.franklinagua.com/media/25617/AIM-Manual.pdf>>,
[Consulta: 17 de noviembre de 2016]
2. FRANZINI, Joseph B., y Finnemore John. *Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería*. 9ª ed. Madrid, España: McGraw-Hill., 1997. 528 p.
4. HERNÁNDEZ, Julio y CRESPO, Antonio. *Problemas de mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 1ª ed. Madrid, España: Editorial UNED, 1996. 316 p.
5. MATAIX, Claudio. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 2ª ed. Oxford, U.S.A.: AlfaOmega, 1994. 660 p.
6. PÉREZ REMESAL, Severiano y RENEDO ESTÉBANEZ, Carlos. *Manual de Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. 1ª ed. Cantabria, España: Editorial OCW Unican, 1993. 235 p.
7. ROLDAN, José. *Manual del instalador electricista*, 12ª ed. Barcelona, España: CEAC, 1991. 192 p.

8. SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ, Urbano. *Máquinas Hidráulicas*. 1ª ed. España: Club Universitario, 2012. 302 p.
9. WHITE, Frank. *Mecánica de Fluidos*. 6ª ed. España: Editorial McGraw-Hill, 2008. 882 p.